REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

ANALES
DE
LA UNIVERSIDAD

ENTREGA N.° 139

PAUL F. SCHURMANN

HISTORIA DE LA FISICA

PREFACIO POR EL

Ing. Eduardo García de Zúñiga

AÑO 1936

MONTEVIDEO

TIPOGRAFÍA "ATLANTIDA"

ZABALA 1376

"Il faut faire voir aux jeunes gens la recherche scientifique, personnifiée par un homme. La meilleure manière de recruter des saints, des artistes, des soldats, des savants, c'est de leur faire voir des saints, des savants, des artistes, des soldats.

Honorez les savants et montrez-les!"

MAURICE BARRES

* * *

"Quien pretende conocer una ciencia no debe contentarse con el fruto sino que debe conocer cuáles han sido sus raíces."

POGGENDORFF

* * *

"La historia de la ciencia es instructiva siempre, no sólo porque presenta en acción el método científico, sino porque de ella se desprende la consoladora enseñanza de que la ciencia es obra humana y colectiva, en que colaboran no solamente los genios, sino los trabajadores humildes; no sólo las naciones opulentas... ¡Para cuántos no está Suecia en el mapa más que por ser patria de Linneo, Polonia no más que por ser patria de Copérnico!..."

MENENDEZ Y PELAYO

* * *

"Se debe dar una importancia especial a la historia de los descubrimientos científicos, tan absolutamente ignora-

da y despreciada por la Universidad, tanto en la enseñanza secundaria como en la superior. El número de los sabios que han comprendido la fuerza educadora de esa enseñanza es muy limitado...”

GUSTAVO LEBON

* * *

“El método legítimo, seguro, fecundo para preparar el espíritu para recibir una hipótesis física, es el método histórico... Hacer la historia de un principio físico es, al mismo tiempo, hacer su análisis lógico... Sólo la historia de la ciencia puede salvar al físico de las locas ambiciones del Dogmatismo como de las desesperaciones del Pirronismo...”

PIERRE DUHEM.

PREFACIO

Un prefacio es casi siempre una especie de soneto a Violante diluído en prosa de panegírico, afectada y sin matices. Esa es, o me parece ser la regla; pero este prefacio se propone (y será su único mérito) darle un mentís rotundo. Ni guirnalda monocroma de puras alabanzas, ni composición hecha a desgano sobre tema impuesto. Lo primero depende de nuestra voluntad; lo segundo será obra de las circunstancias.

La “Historia de la Física” de mi amigo el profesor Schurmann tiene, en efecto, a su vez, una pequeña historia que explicará en parte la espontaneidad de mi rol de prefacista. Empezada a escribir hace muchos años y presentada en 1925 a un concurso abierto por el Ministerio de Instrucción Pública, fué propuesta para el premio de la mejor obra científica por el tribunal correspondiente a las ciencias matemáticas y físicas. El azar de formar yo parte de ese tribunal y la fácil defensa que tomé ante él de la obra de Schurmann, hasta que fuera resuelta su publicación por la Universidad, son antecedentes que me confieren ya una suerte de padrinazgo, demasiado honroso para renunciarlo ahora que puedo hacerlo público.

Y hay otra razón, más personal aún, que me atrae espiritualmente hacia el bello trabajo de Schurmann; y es que yo mismo cultivo desde hace tiempo y con vivo entusiasmo la historia de la matemática, tan estrechamente enlazada a la historia de la física que con ella se confunde en más de un capítulo.

* * *

Los escritores de la antigüedad (de la antigüedad latina por lo menos) concedían poca importancia a la historia como ciencia, y aún como arte. Parecen demostrarlo aquellos conocidos aforismos en que esta hermosa y grave disciplina resulta igualmente maltratada en su fondo y en su forma:

"Historia quoquo modo scripta delectat",
"Concessum est ementiri in historiis".

En cambio, un historiador moderno jamás se atrevería a tomarse la menor libertad contra la exactitud de los hechos que narra, ni se resignaría a exponerlos de manera inadecuada a la elevación y dignidad del asunto. Así lo ha entendido, naturalmente, Schurmann. En un estilo llano y sin retóricas, pero correcto siempre y a veces elocuente y hasta emocionado cuando el tema lo requiere, consigue desarrollar con claridad y método las enmarañadas vicisitudes de las teorías y descubrimientos de la física y los pasajes más interesantes de la vida de los grandes creadores de esta ciencia.

En cuanto al respeto que la verdad histórica le merece, lo pone bien de manifiesto, así en el relato de las grandes controversias, presentado objetivamente para dejar al lector juez de los hechos que imparcialmente se le someten, como en los innumerables mínimos detalles de fechas, nombres propios, etc., que he verificado en centenares de casos, encontrando apenas uno que otro error insignificante: feliz contraste con las repetidas negligencias que afean tantas obras científicas afamadas (para no citar más que dos ejemplos, el clásico tratado de Chwolson, ¿no llega a confundir a los hermanos Curie con los esposos Curie? La obra de Bordeaux ¿no atribuye al Abate Nollet un perfeccionamiento de la máquina de Gramme?)

Pero ha logrado algo más original el profesor Schurmann; ha sabido introducir en la exposición de una materia frecuentemente ingrata, una serie de variados recursos

que le quitan o atenúan su aridez natural y hacen amena, además de instructiva, la lectura de esta respetable obra de 1300 páginas. Mencionaremos entre otros: el empleo de la anécdota elegida con tino para caracterizar en pocas palabras un rasgo saliente; la nota humorística, ofrecida sin insistencia que desentonaría y sin descender nunca a la comicidad gruesa (tal la impagable odisea del bueno de Brewster, el inventor del estereoscopio, en el mundo sabio de París); y en fin, la iconografía, que también descansa de la excesiva o prolongada tensión del espíritu y que sólo puede obtenerse con semejante abundancia dándose el trabajo de ir a buscarla en variadas fuentes; periódicos, biografías, colecciones especiales, como la del Corpus Imaginum *de la Photographische Gesellschaft, etc.*

Sería, con todo, extrema injusticia el pensar que esos interesantes datos anecdóticos sirven tan sólo de recreo. ¡Cuántos problemas, en efecto, — sociológicos, biológicos, filosóficos, — se plantean o se aclaran a la luz de esas informaciones al márgen de la historia propiamente dicha y aparentemente frívolas!

La herencia del talento, y aún del talento especializado, aparece demostrada como fenómeno probable en esas numerosas dinastías de sabios que suelen extenderse a cuatro o más generaciones (los Bernoulli, los Cassini, los Carnot, los Becquerel, los Weber).

Otra constatación, llena de doloroso misterio, surge también de estas breves noticias coleccionadas por Schurmann: la frecuencia, la casi fatalidad del infortunio que persigue sin tregua a los varones más excelsos, y que es como el rescate con que paga el genio su privilegio sobrehumano. "Pathêma, mathêma", *decían ya los griegos para significar esa íntima correlación entre el saber y el sufrimiento. Pascal, Riemann, Hertz, Jablochkoff, Mayer, mueren en plena juventud tras crueles padecimientos; otros, (Tellier, Gaulard, Boltzmann) terminan su vida en la miseria, la locura, el suicidio, o son víctimas de su propio nobilísimo afán de investi-*

gación y descubrimiento (Galileo, enceguecido; Richmann, fulminado, y todos los héroes de la radiología).

La relación entre la fe y la ciencia también es indirectamente aludida al citar la calidad de creyentes de algunos de los sabios biografiados. Los datos del profesor Schurmann — incompletísimos a este respecto — son sin embargo impresionantes por el valor individual de los ejemplos. Baste nombrar a Faraday, Stokes, Maxwell, los Becquerel, Duhem, Davy, Desains, Oersted, para desacreditar la pretendida antinomia entre la religiosidad y la actividad superior del pensamiento. En todo caso, el fanatismo antirreligioso, muy común fuera de los medios científicos, parece radicalmente repugnante al espíritu de los verdaderos sabios, quienes, en su casi totalidad, suscribirían la frase lapidaria de Lázaro Carnot "J'abhorre le fanatisme, et je crois que le fanatisme de l'irreligion est le plus funeste de tous".

Condensando: perfecta exactitud en los hechos; escrupulosa imparcialidad en los juicios; forma de exposición correcta y atrayente; presentación metódica y cómoda para la consulta, gracias a los índices, las tablas y la síntesis final; amplitud, erudición y originalidad (en cuanto ella es posible) en el desarrollo del vasto y complejo tema, — tales son las principales cualidades de este tratado de "Historia de la Física", el primero escrito en nuestra lengua.

* * *

Y ahora examinemos un poco el reverso de la medalla.

Montaigne, que escribió a propósito de la amistad las páginas fervientes que todos sabemos, profesaba un odio no menos ferviente a la adulación, que es la hipocresía de la amistad. Quería inclusive que las leyes castigaran la exorbitancia en el elogio, de igual modo que castigan las ofensas a la ajena reputación: "Le loüer et le mesloüer s'entrerespondant de si pareille consequance, il est malaysé a sauver que nos loix deffendent offenser la reputation d'aultruy, et ce neantmoins permettent de l'annoblir sans merite."

Mi amigo Schurmann, que adora a Montaigne, no tomará a mal, por consiguiente, que haga yo cuanto pueda por no incurrir en eso que su autor predilecto equipara nada menos que a un delito penado por las leyes.

A fuerza, pues, de buscarle defectos a su "Historia de la Física", he acabado por descubrir en ella dos serias omisiones:

La primera es que concluye demasiado pronto; lo que en cierto modo tendría más de halago que de crítica, si con ese terminar prematuro no quedara el libro trunco y privado de lo que hubiera podido ser uno de sus mejores capítulos;

La segunda, es que sería de desear que fuera ampliada y puesta al día la información bibliográfica, para permitir así al lector profundizar más el estudio de algún tema preferido.

El retardo en la publicación de este libro, que empezó a escribirse hace 20 años o más, explica pero no disculpa del todo la arbitraria decisión del autor de limitar su información histórica al año 1900.

Los adelantos realizados por la física en lo que va del siglo superan en importancia y extensión a los que fueron acumulándose penosamente a través de los dos o tres milenios precedentes. Hipótesis y teorías atrevidísimas han revolucionado los conceptos fundamentales con rapidez tal que su metodización será la tarea indispensable de largos años venideros. Hasta principios básicos de la lógica tradicional: la causalidad, el determinismo, periclitan en esta radical revisión de valores científico-filosóficos. Los viejos procedimientos didácticos son ahora insuficientes, y en especial la construcción de modelos mecánicos destinados a hacer visibles y palpables los fenómenos demasiado complejos, o de un desarrollo demasiado fugaz para ser directamente analizados; aquellos lindos modelos, caros a lord Kelvin y a la

generalidad de los sabios de su raza, son irrealizables y hasta inconcebibles, y amenazan seguir siéndolo por mucho tiempo si no indefinidamente.

Pero es la variedad enorme de los nuevos fenómenos observados o experimentados la que ha ido exigiendo la creación de teorías cada vez más vastas y capaces de abrazarlos todos. Dejar de lado aquéllos y éstas, es resignarse a ignorar lo que ofrece quizá de más apasionante y rico la historia de la física.

La audacia de las hipótesis se alía al rigor de las experiencias sutilmente excogitadas, y multiplicadas a tal extremo que la coincidencia de los resultados no puede casi dejar ninguna duda sobre su exactitud. Painlevé citaba en una de sus últimas conferencias científicas el ejemplo de una de esas verificaciones sorprendentes. El número de moléculas de azoe contenidas en el volumen de un milímetro cúbico es, en condiciones normales de temperatura y presión, de unos treinta mil millones de millones. Esta cifra, deducida de un estudio muy paciente de los movimientos brownianos, ha sido comprobada por medio de una fórmula independiente debida a Einstein.

"Tales coincidencias ya no asombran a los físicos, habituados a constatarlas. Hay (además de los dos métodos recién aludidos) no menos de otros diez y seis que conducen aproximadamente al mismo resultado, a pesar de corresponder a órdenes de fenómenos cuya diferencia salta a la vista con sólo enunciarlos: el azul del cielo, la radiación de un horno incandescente, la viscosidad de los gases, la radioactividad, la carga eléctrica del polvo. Los diez y seis números a que se llega así, no sólo son del mismo orden de magnitud sino que apenas se alejan de su valor medio en un 7 % en más o menos".

Si el profesor Schurmann publicara una segunda edición de esta obra, o hiciera, como sería de desear, una edición compendiada para uso escolar de su "Historia de la Física", sería entonces la oportunidad de hablarnos de esos

iones, electrones, y protones, de los números atómicos, de la teoría de los quanta, de los fotones y de la mecánica ondulatoria, del probabilismo y sobre todo de la mecánica de Einstein que casi nadie entiende, principalmente los que con más aplomo afirman entenderla.

Podrán también entonces completar su trabajo con una mayor cantidad de datos bibliográficos, metódicos y puestos al día.

* * *

Para seguir el buen ejemplo que me da el mismo profesor Schurmann al introducir en su Historia, con extraordinaria frecuencia, el detalle biográfico de vivo interés humano, quiero, antes de concluir, trazar en pocos rasgos la semblanza corporea y psíquica del autor de este libro, satisfaciendo a la vez, lo mejor que pueda, la natural curiosidad de los lectores.

De elevada y atlética estatura, tipo belga de la variedad flamenca, que es como decir belga elevado al cubo, representa fielmente en lo físico a aquella áspera y recia tribu de pobladores de la Galia septentrional a quienes César, que tenía sus razones para conocerlos bien, consideraba como los más fuertes de todos los galos; omnium fortissimi. *Descendientes de germanos, según el mismo César, guerreaban continuamente contra ellos en defensa de su territorio, vieja tradición que todavía conservan y en cuyo honor hizo el heroico sacrificio de su vida, Mauricio Schurmann, hermano de Pablo, brillante oficial de artillería, caído gloriosamente en la defensa de Amberes el año 1914.*

Pero dentro de ese robusto corpachón de guerrero antiguo — al que un formidable par de gafas de carey lejos de atenuar su rudeza, la subrayan con violento anacronismo, — hay un corazón casi infantil de puro bueno y un alma abierta de par en par a todas las delicadezas del arte y de la literatura contemporáneos, como a todas las iluminaciones de la ciencia.

Porque este mi admirado, respetado y querido amigo Schurmann, tan simple de corazón, es todo lo contrario de un espíritu simple.

Complicado y multifácico, sabe dar, junto a la ciencia de su especialidad — que es sin duda la física y su historia, — un lugar casi equivalente a otras muy diversas actividades del intelecto. Más feliz que Ingres, el legendario rascatripas, tiene Schurmann, para encantar sus ocios, toda una orquesta de dóciles y bien afinados instrumentos.

Orador, filólogo, conferencista, de fecunda actuación en pedagogía pues ha sido colaborador o precursor de numerosas reformas de nuestra enseñanza media, Schurmann es director de uno de nuestros mejores Liceos de Enseñanza Secundaria que se destaca no sólo por su organización sino también por una vasta obra de extensión cultural.

Todos conocen sus métodos de gramática francesa e inglesa, empleados en nuestros institutos docentes, sus trabajos de metodología de la enseñanza de las lenguas vivas y de filología. Todos hemos oído o leído sus conferencias, que unen a la amenidad del estilo la valiente originalidad de los conceptos. La que dedicó a Edison en ocasión de su muerte llamó poderosamente la atención por la respetuosa franqueza con que, sin dejar de reconocer sus otros méritos, niega al popular y genial inventor la calidad de verdadero sabio.

Y habría todavía que recordar sus incursiones en el periodismo y en la poesía (pues cometeré la indiscreción de decir que le conozco versos delicados publicados bajo seudónimos impenetrables), sus actividades rotarianas (es bien conocida en el Rotary sudmericano la figura del presidente del Club de Florida), y qué sé yo cuántas cosas más.

Cómo ha podido hacer y aprender tanto en tan poco tiempo — pues el profesor Schurmann es un hombre todavía muy joven — lo explicará él si puede. Yo renuncio a hacerlo. Su capacidad para el trabajo intelectual es, según creo, don innato, del que participan o participaron todos los miembros de esta privilegiada familia, que cuenta a un conocido profesor y tratadista, Dr. Gustavo Cohen de la Sorbona, y al entomólogo, Ing. Jorge Schurmann, hermano también de nuestro amigo, que fué profesor apreciadísimo de nuestra Facultad de Agronomía, y varios otros hombres de ciencia y universitarios de fecunda actuación.

Basta con lo dicho para dar una idea de lo que valen este hombre realmente superior y su obra extensa y profunda.

Y si me he deleitado en hacerlo resaltar, a riesgo de atraerme el resentimiento de mi amigo Schurmann, es porque creo necesario hacer conocer este ejemplo de laboriosidad con la esperanza de que sean muchos los profesores de nuestra enseñanza media y superior que sigan esta norma característica del profesor europeo: el deseo y la necesidad de "producir".

E. García de Zúñiga.

22 Enero 1937.

BIBLIOGRAFIA GENERAL (1)

Historia y Crítica.

—Histoire de la Physique, Poggendorff (Dunod, Paris, 1883).
—Histoire de la Physique et de la Chimie, Hoefer (Hachette, París, 1872).
—Histoire de l'Astronomie, Hoefer (Hachette, París, 1873).
—Histoire des Sciences Mathém. et Phys., M. Marie, (Gautier Villars, París, 1883).
—Historia de la Ciencia, Dampier Dampier Whetham.
—Storia della Física, Dr. R. Pitoni (S. T. E. N. Torino 1913).
—Histoire des Mathématiques, M. Montucla (París, 1758).
—Histoire des Sciences Math. en Italie, G. Libri (Schmidt, Halle, 1865).
—Histoire des Sciences au XIXème. Siècle, A. Bordeaux (Béranger, París-Liège, 1920).
—Histoire de la Physique, Edmond Hoppe (Payot, París 1928).
—Historia de la Física, Prof. A. Kistner (Labor, Barcelona, 1935).
—Historia de las Matemáticas, H. Wieleitner (Labor, Barcelona, 1928).

(1) Sólo indicamos aquí las obras de interés general y fáciles de conseguir o de consultar en nuestro ambiente, pues no hemos querido alargar esta lista con los títulos de las obras originales o de crítica especial, que, en su mayor parte, están citadas dentro de la obra en lugar oportuno.

—Notices Biographiques, Arago (Morgand, París, 1865).
—Notices Scientifiques, Arago (Morgand, París, 1865).
—Mémoires Scientifiques, Arago (Morgand, París, 1865).
—Mélanges, Arago (Morgand, París, 1865).
—Vie des Savants Illustres, L. Figuier (Hachette, París, 1865-1870).
—Los Grandes Inventos, L. Figuier (Hachette, París, 1865-1870).
—Les Merveilles de la Science, L. Figuier (Furne Jouvet, París).
—La Ciencia y sus Hombres, L. Figuier (Jaime Seix, Barcelona).
—L'Année Scientifique et Industrielle, Figuier et Gauthier (Hachette, 1857-1913).
—Lectures Scientifiques, Gay (Hachette, París, 1906).
—Storia del Progresso dell'Industria Umana, Cicconi (Pomba, Torino, 1842).
—Les Grands Hommes, W. Ostwald (Flammarion, París, 1812).
—La Science Française, Varios Autores (Larousse, París, 1915).
—L'Evolution des Sciences, L. Houllevigue (Colin, París, 1914).
—Les Nouveaux Horizons de la Science, H. Guilleminot (Steinheil, París, 1913).
—La Ciencia al Día, C. Gibson (Scientific Ideas of to Day) (Ciencia para todos, Barcelona).
—Les Allemands et la Science, Petit et Leudet (Alcan, París, 1916).
—Desarrollo Intelectual de Europa, W. Draper (Imprenta Española, Madrid, 1913).
—Les Conflicts de la Science et de la Religion, W. Draper (Germer Bailliére, París, 1882).
—La Mécanique, E. Mach (Herman, París, 1904).
—La Science et l'Hypothèse, H. Poincaré (Flammarion, París).
—La Valeur de la Science, H. Poincaré (Flammarion, París).

—Science et Méthode, H. Poincaré (Flammarion, París).
—Dernières Pensées, H. Poincaré, (Flammarion, París).
—Evolution de la Matière, G. Lebon (Flammarion, París).
—La Science Moderne, F. Picard, (Flammarion, París).
—La Physique Moderne, L. Poincaré (Flammarion, París).
—L'Electricité, L. Poincaré (Flammarion, París).
—La Dégradation de l'Energie, B. Bruhnes (Flammarion, París).
—Histoire de la Machine à Vapeur, Thurston (Germer Baillière, París, 1888).
—Del Hombre a la Ciencia, Le Dantec (Colección Le Bon).
—Qu'est ce au fond, que la Science? Vouillemin (Albin Michel, París, 1924).
—Les Sciences Exactes, J. Pérez (De Boccard, París, 1930).
—La Science, ses Progrés et ses Applications, Urbain y Boll (Larousse, París, 1934).
—La Théorie Physique, Duhem, (Chevalier, Rivière, París, 1906).
—Del Método de la Ciencia, Varios Autores (Colección Borel-Gutenberg, Madrid, 1916).
—Sciences Mathématiques et Physiques chez les Belges, Quételet (Bruxelles, 1864).
—Les femmes dans la Science, Rebière (Nony, París, 1897).

Físicas Generales.

—Tratado de Física, Chwolson (Feliu y Sussanna, Barcelona, 1916-1922).
—Tratado Elemental de Física, Ganot Maneuvrier (Bouret, París, 1919).
—Curso de Física, W. Watson (Labor, Barcelona, 1925).

Enciclopedias y Diccionarios.

—Enciclopedia Hispano Americana.
—Grande Encyclopédie Larousse.
—La Grande Encyclopédie.
—Anglo-American Enciclopedy.

—Enciclopedia Espasa.
—Dictionnaire de Biographies, Dezobry et Bachelet.

Revistas.

—Annales de Chimie et de Physique.
—Journal de Physique.
—Journal de Physique Élémentaire.
—La Nature.
—L'Electricité.
—Cosmos.
—Revue des Cours Scientifiques.
—La Science au XXème. Siècle.
—Scientia.
—Revue Scientifique.
—Revue Générale des Sciences.

ANALES DE LA UNIVERSIDAD

AÑO XLIIII | MONTEVIDEO 1936 | ENTREGA N.° 139

PAUL F. SCHURMANN

HISTORIA DE LA FISICA

"Avant - Propos"

Una Historia de la Física, — tal vez la primera Historia de la Física en idioma español — escrita en el Uruguay. ¿Cómo? ¿Por qué?

Me inicié en la enseñanza, hace unos veinte años, como profesor de ciencias en un colegio inglés. Tenía a mi cargo varias clases de física, química y ciencias naturales con alumnos cuya edad oscilaba entre los 10 y los 18 años — ya que en los colegios ingleses el curso de ciencias figura en todos los grados de la enseñanza. Pronto me dí cuenta que, para despertar interés en los alumnos más jóvenes, debía apartarme de las exposiciones didácticas comunes. El procedimiento inductivo-intuitivo experimental sólo lograba a medias mantener la atención tan fácilmente desviable de los más pequeños, y, como profesor, sentía frecuentemente que sólo miraban "con los ojos" mis experiencias, sin mayor provecho cultural... Adopté entonces un procedimiento que satisfacía más que ningún otro a mi joven auditorio: era la reconstrucción histórica del descubrimiento científico y su explicación en forma inductiva-intuitiva.

Si iniciaba, por ejemplo, el estudio del electromagnetismo, traía a la clase una pila, un poco de alambre y una aguja magnética. Repetía la experiencia de Oerstedt (1) como si

(1) Método del redescubrimiento (Method of rediscovery).

en aquel momento hiciera un descubrimiento casual. Luego contaba a mis alumnos en qué circunstancias Oerstedt había realizado su experiencia... les hablaba de la sorpresa que causó en algunos sabios... les hablaba de Delarive y de su laboratorio de Ginebra... de la visita de Arago... del regreso de este sabio a París... de la atención con que Ampere le oyó describir el inexplicable experimento en la Academia de Ciencias.. y les relataba, en fin, como nació casi espontáneamente en el cerebro genial de ese matemático la teoría electromagnética. Y, en medio de una gran atención, explicaba entonces, a grandes rasgos, a una clase ávida de conocer los resultados maravillosos de ese hermoso cuento,como la primera consecuencia de esa teoría fué el invento del electroimán, pequeño corazón electromagnético del telégrafo, del teléfono y de todas las máquinas eléctricas que revolucionaron la industria moderna y la vida misma del siglo XIX.

Este método reune las ventajas del método histórico, que utiliza la imaginación tan pródiga en el niño, y del método experimental activo, que despierta el espíritu de observación; y logra reducir a un mínimum los defectos de la exposición didáctica, que descansa sólo en la memoria y se limita a "infundir en los espíritus jóvenes, ideas hechas, elegidas entre las que pasan por ser las más exactas..." (1).

Para aplicar y ampliar el método, busqué una obra de Historia de Ciencias que me diera los elementos necesarios... Esa obra no la encontré; creo que no existe (2). Resolví entonces recopilar datos sobre la historia de cada una de las ciencias a cuya enseñanza me dedicaba y, poco a poco, fuí reuniendo un cierto número de apuntes. Dejé ese colegio in-

(1) LECHATELIER. (LEBON "Psychologie de l'Education" p. 315.)

(2) "SIGMUNDO GUNTHER, DANNEMANN, WALTER LIBBY lo han tentado, pero sin éxito. El primero sólo logró ofrecer un resumen para los ya iniciados; el segundo no pudo sustraerse al método analítico; el tercero fué dominadd por la parcialidad patriótica"; (P. F. Schurmann - Conferencias: La Enseñanza de la historia de las Ciencias, Montevideo, 1933). La obra de Dampier Dampier-Whetham, "Historia de la Ciencia y sus relaciones con la Filosofía y la Religión" tampoco sirve para esos fines de enseñanza, aunque su lectura sea de gran interés como obra de consulta.

glés; fuí nombrado profesor en un Liceo dependiente de la Universidad del Uruguay en una ciudad del Interior... Allí encontré como colega a un sabio italiano, el profesor Matteuzzi. Sobre este filósofo y sobre su vida de estudioso casi ignorado en aquella pequeña y quieta ciudad de tierra adentro merecería escribirse un largo estudio de grandes valores ejemplificadores. No me corresponde hacerlo aquí, sólo debo recordar, por deber de gratitud, que fué Matteuzzi quien se interesó en mis apuntes de historia de ciencia, fué él quien me aconsejó ampliar y ordenar los que trataban de la historia de la física, fué él quien, con su ejemplo, me enseñó a aprovechar la plácida calma de la ciudad provinciana para estudiar y trabajar en silencio, todos los días, muchas horas, durante muchos años...

Dediqué todos mis momentos de libertad a ese cautivante estudio y es así que pude decir algunos años después en una conferencia: "Como el habitante de las ciudades tentaculares busca afanoso un sitio pintoresco donde pueda gozar de un esparcimiento reparador, debe el intelectual hallar un terreno propicio a las expansiones espirituales, en estudios desinteresados, deslindados de sus preocupaciones cotidianas. Hace años ya que he hallado ese retiro soñado en el estudio de la Historia de la Física y en él he encontrado más bellezas que en el más hermoso sitio agreste. Más bellezas... y más soledad aún, pues — no sé por qué causa — los intelectuales prefieren a esos lugares solitarios, los más frecuentados o sean las ciencias consagradas, oficializadas por los programas universitarios."

Muchas veces, colegas y amigos me acompañaron, aunque en forma pasajera, en la soledad de ese retiro y quiero recordar especialmente entre ellos: al Ing. Eduardo García de Zúñiga, matemático erudito y autor de valiosos estudios de historia de las matemáticas, que se dignó interesarse en esta obra, al Dr. Matías González, quien me procuró varias obras de historia de física, y a dos compañeros de liceos del Interior, el profesor Luis Brin, quien siguió con interés y afecto mi labor, y el Profesor Ing. Mario Rebuffel, quien en el curso de un período de descanso impuesto por la enferme-

dad que fué causa de su muerte prematura, leyó mis apuntes y dejó señaladas al margen sus juiciosas observaciones.

Al recordar esta deuda de gratitud, debería señalar también a varios profesores y sabios europeos quienes en recuerdo de su ex alumno unos y por simple generosidad otros, me proporcionaron obras e informes de gran utilidad. Si me limito a manifestarles mi agradecimiento sin nombrarlos es por no permitirme invocar sin su autorización su prestigio científico.

En artículos (1) y en conferencias (2) hice conocer algunos aspectos de la obra que había escrito y que permanecía inédita a pesar de haber sido presentada ya a un concurso oficial de obras científicas y de haber merecido en esa oportunidad (1925) un juicio excesivamente elogioso del tribunal encargado de su estudio, compuesto por los Profesores Ingenieros E. García de Zúñiga, E. Legrand, Fco. Tureilles, Juan B. Maglia, E. Terra Arocena, quienes aconsejaron la publicación inmediata de la obra como reconocimiento de su utilidad. Varios años después, por gestiones de los Profesores Arq. Armando Acosta y Lara, Ing. Edo. García de Zúñiga e Ing. L. Giorgi, la Universidad resolvió publicar la obra en sus "Anales", pero sólo pudo hacerse efectiva dicha resolución en 1936.

Fué así y fué por eso que se escribió y que se publica en el Uruguay una Historia de la Física — la primera historia de la Física en idioma español... Y es por eso también que esta obra no tiene grandes pretensiones. No es una obra original, sólo es una copilación de datos espigados con paciencia en libros y revistas científicas y comprobados con imparcia-

---

(1) "Edison" (El País, Octubre 29 de 1931).

"Faraday, y las Leyes de la Electólisis". (Imparcial, Abril 10, 1933.

"Insistiendo" (Ciencias y Letras, San José, Octubre, 1933).

"Génesis del Cinematógrafo" (Imparcial, Abril 10, 1933.)

(2) "La Enseñanza de la Historia de las Ciencias", (1931.)

"Edison" (1931) Reunidas en un folleto. "Conferencias", (1933).

"Valores Culturales de la Historia de Ciencias" (Congreso de Educadores, Piriápolis, 1932).

Un capítulo de Historia de Ciencias: "El Nacimiento de la Termodinámica", (1933), etc.

lidad por un profesor de enseñanza secundaria, lejos de las fuentes, lejos de las bibliotecas europeas donde crean obras originales los grandes investigadores, quienes, con profundos conocimientos científicos, bibliográficos y linguísticos, hacen el sacrificio de largos años de exploración en el tesoro inagotable de los manuscritos inéditos.

Sólo he querido dar un material útil a los profesores de física con la esperanza que despierte en ellos un poco de interés en un estudio injustamente abandonado y despreciado. Si logro ese doble fin de interés y de utilidad, mis horas de trabajo habrán sido ampliamente remuneradas.

P. F. S.

1936



LA FISICA
(Fresco de Puvis de Chavannes. Bibl. Munic. Boston)

INTRODUCCION

Según los datos que he podido obtener, tanto en Sud América como en España, no se conoce ninguna Historia de la Física escrita en idioma español y, a pesar de existir algunas en otras lenguas, hombres de ciencia, sabios de indiscutible fama, que he consultado al respecto, me confesaron que nunca se habían preocupado de dicho estudio.

No puedo explicarme aún por qué no se ha dado más importancia al estudio y a la enseñanza de la historia de las ciencias, por qué se desprecian las generosas fuentes culturales que en ella abundan, por qué se dejan hundir en el olvido — esa segunda muerte — hombres que han sacrificado su vida por el bien de sus semejantes y la marcha triunfal del progreso, cuando, por otra parte, la ciencia que usurpa para sí sola el vasto nombre de "Historia" se detiene en grabar en la memoria de las generaciones el recuerdo de mil batallas y los impulsos felices o frustrados, de mil ambiciones.

Dice LAFUENTE en su Historia de España:

" Una observación nos suministra la lectura de las his-
" torias arábigas. Ni sólo un literato, ni sólo un erudito
" deja de ser mencionado por sus historiadores. No se
" verá que omitan jamás los nombres de los doctos que
" florecieron en cada reinado, con sus respectivas bio-
" grafías y la correspondiente reseña de sus obras. Cí-
" tase con frecuencia el fallecimiento de un profesor dis-
" tinguido como el acontecimiento más notable de un año
"lunar. La narración de un combate empeñado entre dos
" ejércitos se interrumpe en la más interesante para dar
" cuenta de que allí se encontraba o de que llegó a la sa-
" zón, o de que murió a tal tiempo en cualquier punto
" que fuese, tal poeta ilustre o tal astrónomo afamado.
" Conócese que estaba como encarnada en aquellas gen-
" tes la apreciación del mérito literario..."

Esto hacían los Arabes, hace mil años, y ahora, nosotros, que creemos haber subido a la cumbre de la civilización, también escribimos y estudiamos libros de historia, pero no interrumpimos nunca el relato de las guerras con insignificancias como noticias sobre sabios o poetas. Nuestros libros de historia no mencionan siquiera los nombres de los más grandes genios, pues demasiado les preocupan las astucias de políticos arrivistas y los crímenes de los conquistadores. Si Lafuente pudo decir de los Arabes de hace mil años, que al leer sus historias "conócese que estaba como encarnada en aquellas gentes la apreciación del mérito literario", no me

extrañaría que, dentro de mil años, un historiador juzgara nuestros tiempos asombrándose de no encontrar en las historias los nombres de los verdaderos grandes hombres: los sabios, los artistas, y exclamara a su vez: "Parece que estaba como encarnada en aquellas gentes el desprecio del mérito intelectual."

Sin embargo, si se conociera la historia de las ciencias, esa historia moral y hermosa, llena de ejemplos bienhechores, despertaría sin duda en los estudiosos más amor, más entusiasmo y más respeto por la ciencia misma y por los hombres que contribuyeron a elevarla y ampliarla cada vez más.

Puede observarse desde algunos años, en Europa y en Norte América, cierto movimiento en favor del estudio de las ciencias. Las revistas publican con mayor frecuencia trabajos que se refieren a esta interesante materia. En varias facultades europeas se dictan cursos libres de historia de ciencia y en la enseñanza secundaria de Francia, si bien no se ha llegado todavía a establecerla como materia obligatoria para el estudiante, se obliga, al menos, al profesor a no ignorarla, pues en el plan de estudios se le ruega no olvidar los grandes nombres y "hacer conocer, en su debido tiempo, y bajo forma de digresión, la vida de algunos grandes hombres (GALILEO, DESCARTES, PASCAL, NEWTON, LAVOISIER, AMPERE, FRESNEL, etc.) y dar a los alumnos lectura de algunas páginas características de sus obras".

* * *

En la disposición general de la obra, he tenido que elegir entre dos sistemas, que consisten, el uno, en estudiar la historia de cada capítulo de la Física, independientemente de los demás, y el otro en estudiar por orden de fechas, las biografías de los grandes sabios y sus obras. He preferido el segundo de esos sistemas, porque creo que, aunque no demuestre siempre tan claramente la evolución particular de cada idea, permite evocar mejor el estado de la ciencia en las diferentes épocas y dar por consiguiente una idea más exacta de su marcha. Reconociendo sin embargo al primer sistema ciertas ventajas, he agregado a las biografías un resumen general de la historia de la física, planteado de aquél modo. He

creído interesante también, hacer preceder con una introducción el estudio de cada grande época de la historia, y agregar a la obra, un cuadro sincrónico cuyos "puntos de refebres que contribuyeron a elevarla y ampliarla cada vez más. rencia" pertenecen a la historia universal, así como índices muy detallados para facilitar lo más posible el rápido hallazgo de un dato preciso. (Quiero dejar especial constancia que, si en esta distribución de los autores, y por simples razones de oportunidad, he colocado a muchos sabios en notas al pie del estudio de otros sabios, no significa de modo alguno que atribuya inferioridad de valores a aquéllos).

* * *

No quisiera que esta obra resultara un insípido amontonamiento de hechos históricos, por interesantes que puedan ser en sí mismos, pues desearía que llegara a provocar deducciones y generalizaciones de mayor interés. Como la enseñanza de las matemáticas pierde todo su valor si no se admira la belleza de su lógica y si no se aprende por ella a razonar, como un cuadro no es sino una mala fotografía para el que no llega a sorprender la idea o el sentimiento del artista, el estudio de la historia de la ciencia es casi inútil, si no invita a sacar enseñanzas sintéticas de su análisis minucioso de los hechos.

En el curso del estudio de la historia de la física son innumerables las observaciones y preguntas que acuden constantemente al espíritu. Estudiarlas sería preparar una obra extensa, pero sumamente beneficiosa. Podemos sin embargo señalar algunas de las más sobresalientes de dichas observaciones:

Por su método y su razonamiento, los sabios pueden clasificarse de modos muy distintos. Una división podría hacerse entre "teóricos" y "prácticos", siendo los primeros los que sólo se preocupan de descubrir la verdad, aunque sea sin beneficio tangible, mientras que los segundos buscan constantemente la solución de problemas de orden práctico. Estos últimos son los que el mundo glorifica generalmente con más entusiasmo, pues están más a su alcance; pero olvida así injustamente a los sabios de mayor mérito quienes,

desde el fondo de su laboratorio, habían descubierto todos los elementos que necesitaba el inventor y que éste a veces no ha hecho sino reunir, con más o menos originalidad.

Más interesante, sin duda, es dividir a los sabios según su método de estudio o su predisposición particular que por los resultados obtenidos. A este orden de clasificaciones pertenece la de "sintéticos" y "analíticos". Los primeros son los que, mirando las cuestiones en sus rasgos más generales, se entregan a comparaciones y analogías atrevidas que les hacen descubrir a veces maravillosas visiones. Entre ellos se cuentan casi siempre los grandes renovadores, los genios. Más obscuros permanecen, en general, los analíticos quienes, dedicados a la paciente comprobación de los más ínfimos detalles, dan a la ciencia la fuerza de la certidumbre, de la seguridad. Las masas respetan al sabio analítico, reconocen en él un espíritu superior, admiran la grandeza incomprensible de su vasta erudición, pero su timidez y su precaución de hombre que no se fía más que en la lógica pura, no despiertan en sus semejantes el entusiasmo que éstos experimentan ante la obra puramente intuitiva y atrevida del sintético.

Ostwald, el célebre químico alemán, ha estudiado con cuidado la psicología de los hombres de ciencia y ha imaginado una clasificación nueva de sus espíritus en "románticos" y "clásicos". El romántico es un sintético hasta el extremo, puramente imaginativo e intuitivo, de comprensión extraordinariamente rápida, pero poco persistente y algo superficial: sembrador de ideas, pero no cultivador. El clásico, al contrario, es aquél que concienzudamente medita, que piensa profundamente y con toda detención, en las grandes ideas que los sintéticos emitieron. A veces, un sabio reúne las características del clásico y del sintético, y entonces son sus propios rasgos geniales de sintético los que somete a su autocrítica como clásico.

La nacionalidad parece influir profundamente sobre el espíritu del sabio y casi podría ser atribuida cada una de las divisiones que acabamos de señalar a nacionalidades o razas determinadas. Esto no quiere naturalmente decir que cada nación no tenga representantes de las diversas di-

visiones, teóricos e inventores, sintéticos y analíticos, románticos y clásicos, pero, sea debido a la influencia de la educación, del carácter, de las necesidades del momento o del estado de civilización del país, se observan características bien claras: en Inglaterra y en Norte América, abundan los inventores y, aun los sabios más teóricos demuestran tener especial afecto por las representaciones mecánicas de las ideas (1); en Italia, abundan, y abundaron sobre todo en su momento de gran renacimiento científico y artístico, espíritus sintéticos, genios incomparables; Alemania es la patria de los analíticos de erudición, profundidad y concentración extraordinarias; Francia, en fin, ha tenido los más grandes vulgarizadores de la ciencia y sus sabios, aun los más analíticos y profundos, asombran por la claridad, la sencillez y la pureza de sus conceptos y de su expresión.

Por encima de todas las clasificaciones, y sobre todo de aquellas tan dogmáticas como las de la nacionalidad, se encuentran genios universales como Newton, Leibnitz, Descartes, Galileo, que no admiten categoría, ni fronteras.

Se observará también fácilmente que el número de genios que un país ha dado, no depende tanto de su organización como el número de sus eruditos. Las Universidades, Academias y Bibliotecas que propagan el estudio, pueden aumentar enormemente el número de los hombres de ciencia, pero en un grado mucho menor el de los grandes genios, y se observa que, mientras éstos preparan el movimiento científico de un país y por consiguiente lo preceden, los analíticos son el resultado de ese despertar.

Otra observación curiosa, que no escapará al lector de esta obra, es que muchos de los grandes sabios han sido débiles y enfermizos durante su infancia y que, como estudiantes, no siempre han sobresalido de sus compañeros por la aplicación, aunque generalmente se hayan destacado por algún rasgo de originalidad.

Interesante también es notar que muchos grandes sabios se han preparado ya solos, ya fuera de los centros ofi-

(1) Véase: "Théories abstraites et Modéles Mécaniques" en "La Théorie Physique". P. Duhem.

ciales de enseñanza y no eran pues "titulados". Esto demuestra, una vez más, que el valor intelectual de un hombre no debe juzgarse por sus diplomas y que los claustros universitarios no tienen el derecho de atribuirse la exclusividad del saber.

Los grandes sabios emanan casi todos de la clase burguesa y son verdaderas excepciones los que pertenecen a la clase obrera o a la aristocracia.

Aunque se observe que son generalmente hijos de personas de cierta cultura, no puede decirse que el perfeccionamiento intelectual se continúe en su descendencia, pues es muy raro ver el hijo del sabio llegar a elevarse al plano de su padre. Hay felizmente excepciones de esta triste regla y hay nombres, como los de Bernoulli y Cassini, que pertenecen a varias generaciones de sabios.

La colaboración y la influencia de la mujer — aunque más limitadas en la física que en otras ciencias — no pueden ser desconocidas, pues son muchos los casos en que se hicieron manifiestas en forma directa o indirecta. El estudio detallado de la vida de muchos físicos nos muestra la enorme participación que tuvieron en sus obras la esposa, la madre o la hermana, aun careciendo las unas de toda preparación científica pero siendo otras activas colaboradoras, como las esposas de Lavoisier, de Hevelio, de Draper o de Curie, la madre de Foucault o la hermana de Herschel. Otras mujeres realizaron independientemente obras de traducción o de comentarios: Fué la señora de Biot, y no el físico Biot, como se cree generalmente, quien tradujo la obra de física de Fisher; fué Mary Sommerville quien tradujo al inglés y comentó la obra de Laplace, y la Marquesa de Chatelet quien, en igual forma, virtió al francés la obra de Newton. Otras mujeres, de alta posición y de gran cultura, fueron generosas y esclarecidas protectoras de los sabios. Entre éstas podemos recordar a Cristina de Suecia y a Isabel de Bohemia, amigas de Descartes, a Sofía de Brunswick y su hija Sofía Carlota, madre del gran Federico, protectoras de Leibniz, a Catalina de Rusia. La antigüedad tuvo muchas mujeres filósofos y entre ellas la mujer y las hijas de Pitágoras y la hija de Aristóteles.

Todas las ciencias tuvieron mujeres sabias, y Lagrange pudo dedicar una obra al estudio de "Las mujeres astrónomas". En la física, que no fué ciencia predilecta de las mujeres, podríamos sin embargo establecer una lista apreciable de sabias de valor, lista que iniciaríamos con el nombre de Hipatia, la célebre matemática y física alejandrina, para terminarla con el nombre de Mme. Curie, gloria de la ciencia moderna. Y en esta lista se destacarían, en el siglo XVIII: Laura Bassi de Verati, quien reemplazó a Balbi en la cátedra de física del Instituto de Bolonia; Mrs. Bryan, quien se ocupó de óptica, neumática y acústica; la Marquesa de Chatelet, tan sabia como Hipatia aunque menos virtuosa; y, en el siglo XIX; Sofaí Germain, autora de un valioso estudio analítico de las placas vibrantes, Sofía Kowalevski, célebre matemática que se ocupó además de mecánica analítica, Dorotea Marschall, colaboradora de Ramsay y de Griffith en sus investigaciones sobre el calor, la señora Sidwick, colaboradora de Lord Rayleigh en la determinación de unidades eléctricas...

Quien quiera saber si es capaz la mujer de crear obra científica, encontrará en muchos autores opiniones muy diversas, muchas de las cuales han sido reunidas por Rebière en una interesante obra (1).

La edad en que los sabios producen su obra más valiosa no parece ofrecer uniformidad en la historia de la física. Son muchos los físicos cuya fecundidad parece acrecentarse con los años, y que producen, al ocaso de su vida, su obra maestra, mientras que otros conquistan desde muy jóvenes una merecida gloria y luego, agotados por el esfuerzo, como astros fugaces de efímero brillo, desaparecen.

Resultan enigmáticos la causa y el fin de la continua evolución de las tendencias científicas: Con las Egipcios, la ciencia parece monopolizada por los sacerdotes. Los Griegos la divulgan y, amantes de grandes razonamientos, enemigos de las aplicaciones, erigen teorías y sistemas. Los Romanos desprecian la ciencia o se limitan a repetir lo que

(1) Rebiére, "Les femmes dans la Science". (Nony — París — 1897).

Grecia les enseñó. Alejandría, último reducto de la civilización helénica, introduce el método experimental en su célebre Museo. Los Arabes recogen la ciencia griega casi abandonada por el mundo entero y, por primera vez, la propagan hasta en el pueblo por medio de innumerables escuelas y bibliotecas. Mientras la civilización mora declina, Europa Occidental despierta; algunos centros aparecen y, en fin, Italia, con el Renacimiento, inaugura la Era Científica Europea. De Italia, la ciencia parece emigrar a Francia e Inglaterra, luego Alemania y aun Norte América se contaminan de la fiebre del estudio.

Desde el Renacimiento, desde Galileo, el método experimental es el único admitido, la explicación mecánica de todos los fenómenos se vuelve tendencia general y el sistema griego de Aristóteles, transformado y mal entendido por los escolásticos de los primeros siglos del desarrollo científico europeo, desaparece.

Con el siglo XVIII, el vapor y la electricidad aparecen en la física como dos grandes capítulos que se agregan a los, hasta entonces, estudiados, de óptica, mecánica y más tarde acústica.

En el siglo XIX, siglo de la energía, como en sus precedentes, además de la tendencia mecanista se nota una marcada tendencia simplista, que se esfuerza en reunir todos los fenómenos bajo el dominio de grandes principios de sencilla relación. El siglo XX, en fin, se inicia fecundo y promisor, pero los problemas se vuelven cada vez más complicados, las grandes leyes dejan descubrir sus errores o su simple aproximación, se duda del simple mecanismo del Universo, las tendencias científicas cambian...

Esta rápida y desordenada exposición de algunas de las observaciones que suscita el estudio de la Historia de la Física — observaciones que más bien debieran figurar en la conclusión de esta obra que en su introducción — es otra prueba más de su importancia.

Es con este convencimiento que, desde hace varios años, por medio de publicaciones y conferencias, pretendo despertar interés por este conocimiento tan lleno de bellezas como de valores culturales y morales, y es por ello que he

enunciado en repetidas oportunidades la proposición siguiente: "La Historia de la Ciencia es necesaria a la educación. Debe ser introducida, con la importancia que le corresponde, en las asignaturas que puedan encontrar en ella mayor abundancia de elementos útiles. La historia de "cada ciencia" debe formar parte integrante y fundamental de las enseñanzas dadas por los profesores de dichas disciplinas y la "historia general de la ciencia" debe ser uno de los principales componentes del estudio heterogéneo y complejo de la historia universal. En la historia de la ciencia, en fin, el educador encontrará numerosos ejemplos de moral que serán, para él y para sus educandos, fuentes puras y abundantes de fecundas meditaciones."

Concordante con esta proposición, ofrezco esta obra a los profesores de física para que encuentren en ella los datos históricos que les permitan animar su enseñanza con un soplo de vida, introduciendo en ella un factor importante: el factor humano.

ANTIGÜEDAD

Aspecto general

Pocos datos se poseen acerca de los tiempos más remotos de la historia y, apenas podemos afirmar a este respecto, que la ciencia existió. Los escasos conocimientos que formaban entonces el humano saber, estaban rodeados de tal misterio y de tan fantásticas interpretaciones, que es casi imposible separar en ese caos lo verdadero de lo falso.

Los antiguos, se limitaron, en general, a la simple observación de los fenómenos naturales, sin preocuparse de averiguar cuáles podrían ser sus causas; o satisficieron el deseo de saber, natural al hombre, con explicaciones a base de espíritus, divinidades, poderes ocultos, etc.

En ese período, que para la ciencia puede ser llamado prehistórico, los Sumerianos de Mesopotamia, los Egipcios, Caldeos e Indios tuvieron conocimientos de astronomía y de mecánica aplicada, pero ninguno de física propiamente dicha. Sólo existía, como dice MACH, "el descubrimiento instintivo, incompleto, accidental."

Muchos autores reclaman para los Chinos la prioridad del estudio de la física, mas sería difícil hacer afirmaciones al respecto, pues la China ha formado siempre un mundo completamente aparte y su ciencia no ha ejercido influencia alguna sobre la evolución inicial de nuestra ciencia actual; además, el estudio de sus manuscritos, frecuentemente falsificados, es tan penoso y tan contradictorio, que no ofrece sino una seguridad relativa.

Grecia, y más especialmente aún sus colonias asiáticas, fueron sin duda, para nosotros, la cuna de nuestra ciencia, porque fué en Grecia y en sus colonias que todos los conocimientos anteriores fueron reunidos, purificados y se volvieron "científicos".

Los Jonios se habían establecido en las costas y las islas del Asia Menor y pronto su actividad inusitada elevó allí ricas y hermosas ciudades como Mileto, Efeso, Samos y otras.

Muchos de sus compatriotas más esclarecidos habían viajado por Africa y Asia, donde se habían enterado de los conocimientos de los Egipcios, Persas, Caldeos e Indios, que eran, en aquella época, los que más se habían preocupado del estudio de la naturaleza. Es así que TALES formó en la célebre ciudad de Mileto, su famosa escuela jónica, que se caracterizó por el estudio materialista o sea "físico" de la naturaleza.

En las fronteras de ese pueblo, una nación asiática surgía con gran poder y desmedidas ambiciones. En el año 560 antes de J. C., Creso, rey de Lidia, sometió a su ley a los Griegos de Asia. El potente y fastuoso conquistador no abusó sin embargo, de su victoria y, bien al contrario, se mostró generoso y tolerante hacia sus nuevos súbditos, que, pronto se acostumbraron a su nuevo estado, pero se dejaron subyugar por el amor al lujo y la pereza que caracterizan las razas orientales.

Es esa paz que Ciro, rey cruel de los Persas, vino a turbar. Después de haber sometido a los Medos, venció a Creso, lo hizo prisionero, se apoderó de su reino e impuso, a cada ciudad griega de Asia, un tirano. Inútiles fueron los esfuerzos de los Griegos para libertarse de tan odiosa soberanía. Muchos de ellos empezaron entonces a emigrar, dirigiéndose algunos a la Grecia continental y otros a las colonias griegas del sud de Italia. Entre estos últimos se encontraba PITAGORAS, discíplo de la escuela jónica, el cual estableció una escuela en Crotona que pronto se convirtió en un nuevo foco de cultura.

Pocos años después, de 460 a 432 antes de J. C., Pericles, estadista ejemplar, daba a Atenas una era de

gloria y de felicidad y atraía a ella a los filósofos, literatos y artistas más famosos. Gracias a su benéfica influencia, la bella ciudad ática se volvió la "ville lumière" del mundo antiguo.

En esa época, las ciencias se desarrollaron de tal manera que los filósofos se dieron cuenta de que ya no podrían dedicarse simultáneamente a todas ellas; de su estudio general y enciclopédico, se separaron para seguir determinadas orientaciones, la jurisprudencia, la medicina y la astronomía.

La Física, sin embargo, quedó incluida en el estudio general de la filosofía.

Se puede además considerar que el concepto de "Física", tal como lo tenemos ahora, no existe sino desde ARQUIMEDES, pues este gran matemático siciliano fundó la mecánica teórica, con su teoría del centro de gravedad y las leyes de equilibrio de las palancas, y la Física propiamente dicha, con sus ideas acerca de la pesantez y el descubrimiento de su famoso principio de hidrostática. Se atribuye también a ARISTOTELES, la gloria de haber dado una forma de conjunto a la Física, pero esta afirmación no es del todo plausible, pues las obscuras explicaciones y los dogmáticos principios enunciados por este gran filósofo no pueden aún ser considerados como la base verdadera de esta ciencia.

Ni las guerras, ni las pestes, ni el hambre, ni la destrucción llegaron a disminuir en Atenas el amor al arte y a las ciencias, hasta que, en el año 529, el emperador bizantino, Justiniano I, ordenó la clausura de todas las escuelas filosóficas, terminando con este acto bárbaro la era gloriosa de sabiduría que Pericles había inaugurado casi mil años antes.

Los filósofos griegos no se limitaron a observar fría y pasivamente la naturaleza, sino que trataron de explicarse sus fenómenos y, si no llegaron a mayores resultados, no debe atribuirse a su falta de intelectualidad sino a su método de estudio que no era, por cierto, muy exacto.

En nuestros días, el trabajo científico, en presencia de un fenómeno físico, se divide en tres períodos: 1º el "des-

cubrimiento", que consiste en la observación del fenómeno cuando se produce libremente en la naturaleza; 2º el "experimento", que es la reproducción voluntaria del fenómeno para estudiarlo de más cerca y con más facilidad y 3º la "explicación", que es la determinación de las causas del fenómeno mismo y su aplicación a teorías ya establecidas o por establecer.

Los griegos no conocían la experiencia o, mejor dicho, no la "sistematizaban", ni le daban su incuestionable importancia en el estudio de las ciencias. Después de haber observado un fenómeno, se puede decir que se reconcentraban, que se encerraban en sí mismos, sin pedir más que a su cerebro la resolución del problema. Se libraban así a especulaciones espirituales edificadas sobre suposiciones establecidas "a priori", o a razonamientos, a veces forzados, que podían conducirlos a la verdad como también hacerles cometer fantásticos errores. Eran más deductivos que inductivos. Su obra, sin embargo, fué inmensa y, durante casi dos mil años, nada o casi nada se agregó a ella.

Grecia dió el gran impulso, despertó en los hombres el amor al estudio científico sin el cual la humanidad hubiera quedado, como en sus primeros pasos, viviendo una noche de eterna oscuridad.

Roma no ha producido nada en este campo, y apenas si, en ese pueblo que sólo rindió culto a la guerra y a la agricultura, algunos hombres de estudio han hecho comentarios sobre los trabajos de los griegos. Estos últimos, bajo el poder del Imperio Romano, perdieron su unidad y su pureza de raza y salieron de su aislamiento de superioridad sin que desapareciera aún el movimiento científico que iniciaron y del cual fueron, como se ha visto anteriormente, magníficos cultores.

En Atenas, las escuelas peripatéticas, académicas, estoicas y epicúreas florecieron sin cesar, pero sin ser dirigidas ya por hombres del talento de sus geniales fundadores: ARISTOTELES, PLATON, ZENON y EPICURO.

El cambio de costumbres en la vida de Grecia determinó a muchos sabios a emigrar y fuéronse a llevar la cultura helénica a otras tierras, mientras las relaciones comer-

ciales con el extranjero provocaban en su patria una verdadera invasión que convirtió la antigua y pura raza helénica en un pueblo cosmopolita, sin rasgos propios.

Entre los nuevos centros intelectuales que formaron los sabios emigrados, se destacaron pronto varias ciudades: Tarsos de Cilisia y Antioquía, en Asia Menor, y, sobre todo, la hermosa Alejandría.

Cuando murió Alejandro Magno, su vasto imperio fué dividido, y Egipto correspondió a su general Ptolomeo, que reinó sobre ese país de 323 a 285 antes de J. C. y eligió por capital la ciudad de Alejandría.

Ptolomeo Soter, como todos sus descendientes, por incultos que hayan sido, trató siempre de hacer de su capital una segunda Atenas, reuniendo en ella los más altos representantes de la ciencia y de las artes y ofreciéndoles una envidiable hospitalidad. Formó así la famosa Escuela de Alejandría, que marca una importante época de la historia de las ciencias y debe ser considerada como la primera academia científica, comparable acaso a nuestras academias modernas.

A Ptolomeo, acompañaban una pléyade de hombres ilustres: el poeta FILETAS DE COS, el gramático ZENODOTO y otros sabios, que lo habían seguido después de la división del imperio de Alejandro. Pero èste núcleo de hombres de saber no bastaba para formar una "escuela" y el rey se preocupó en atraer a Alejandría sabios extranjeros. Pronto se formó una gran biblioteca en la que se amontonaron libros buscados en todas partes del mundo civilizado, en Grecia, Egipto, Persia, Caldea, Judea, y se instaló en las galerías del Brucheion, palacio que, en el reino de Ptolemeo Ervegetes, ya no bastaba para contener todas las obras, que fueron colocadas entonces en una nueva biblioteca en el templo de Serapis.

Al lado de estas bibliotecas, se encontraba el Museo, local donde los sabios vivían espléndidamente hospedados por el rey y tenían a su disposición magníficos laboratorios, observatorios y colecciones científicas. Es allí que estudiaron y enseñaron DEMETRIO, EUCLIDES, ARQUIMEDES, CTESIBIO, HERON, APOLONIO DE RODAS,

ERATOSTENES, ARISTOFANES, ARISTACO DE SAMOS, HIPARCO y muchos otros grandes sabios.

Sería difícil determinar exactamente el momento de la terminación de la Escuela de Alejandría. CLAUDIO PTOLEMEO ha sido seguramente su última y fulgurante gloria. Durante dos siglos más, hasta el siglo IV, la frecuentaron sabios de valor que no pudieron, sin embargo, agregar nada a la obra de sus predecesores, con excepción quizás del célebre PAPPO. Después de éstos, el nuevo templo de las ciencias exactas cayó en decadencia y sólo se hicieron allí, vagas teorías psicológicas que merecen apenas el nombre de filosofía.

En 640, después de catorce meses de sitio, las tropas árabes, que habían conquistado ya una gran parte de Asia, penetraron en Alejandría. Amru, teniente del conquistador musulmán Omar, dirigía esta expedición y, según muchos historiadores, llevado por un fanatismo sin límite, entregó a las llamas los tesoros contenidos por la magnífica biblioteca y dió para ello el siguiente pretexto que la historia consigna como prueba de exaltado fanatismo: "Fuera del Libro de Dios, todos los libros son inútiles" pues "si los libros están de acuerdo con el Corán, son inútiles, y si se oponen a la doctrina del Profeta, son peligrosos" Se agrega todavía que los árabes emplearon los libros como combustibles para calentar el agua de los baños durante más de seis meses. Pero esos episodios, que seducen al historiador como hermosos ejemplos de barbarie frente a la civilización, no están debidamente comprobados, y algunos historiadores no vacilan en considerar todo lo que se ha dicho al respecto como pura leyenda.

Lo cierto es que, en 640, la famosa biblioteca había desaparecido, si no incendiada por los árabes, destruída en los tiempos de la invasión romana.

En los primeros siglos de nuestra era, la civilización antigua parece perseguida en sus últimos refugios. Los bárbaros habían destruído Roma, la capital del mundo civilizado; en el año 529, Justiniano había dado el golpe de muerte a los restos de la filosofía griega, clausurando

todas las escuelas y persiguiendo a sus maestros; Alejandría, en fin, con la invasión árabe y las luchas internas entre cristianos y paganos, había perdido su superioridad.

La ciencia parecía haber sucumbido para siempre; parecía que el mundo iba a volver al salvajismo primitivo y que el largo esfuerzo de Grecia había sido inútil. Pero el fuego ardía debajo de las cenizas y veremos cómo, conservado en Siria, los árabes lo avivaron y lo alentaron, hasta que Europa, librada de las tinieblas de la barbarie, lo recogiera e hiciera brillar con nuevo e inesperado fulgor.

En conjunto: Los conocimientos de los antiguos, en física propiamente dicha, eran muy limitados. Sus ciencias predilectas eran la astronomía y las matemáticas y es así que las partes de la física que más se desarrollaron fueron las que tienen alguna relación con ellas; es decir la mecánica y la óptica. Las otras partes, como la electricidad, el calor, la acústica, el magnetismo, no preocuparon mayormente a los antiguos, en cuyas obras sólo se encuentran algunas observaciones aisladas, sobre fenómenos que se relacionan con ellas.

La mecánica práctica, o exclusivamente experimental, nació naturalmente en los tiempos más remotos, tan pronto como los hombres sintieron la necesidad de construir su morada, y, más aún, cuando empezaron a elevar grandes monumentos como los que hicieron los egipcios y los asirios.

Es en esta ciencia que se destacaron los trabajos de ARQUITAS, CTESIBIO y HERON.

En cuanto a la mecánica teórica, parece iniciarse en las obras de ARISTOTELES, donde se encuentra, por primera vez, la preocupación de establecer principios generales que no tengan a la práctica como fin primordial; pero no fué sino cuando ARQUIMEDES estudió las condiciones de equilibrio de las palancas y constituyó su teoría del centro de gravedad, que, sobre estas bases seguras, pudo edificarse una verdadera ciencia a la que PAPO hizo realizar grandes progresos.

Se puede decir que la mecánica estática empieza con la historia de la ciencia para terminar con GALILEO que inauguró la dinámica.

Un capítulo de la mecánica que interesó especialmente a los antiguos, fué la hidráulica, que tanto les ayudó en sus obras de irrigación, de desecación de pantanos, construcción de acueductos y fuentes ornamentales.

Resolvieron también, importantes problemas de óptica que conservamos en un número reducido de obras. Los griegos dividieron esta zona de la Física en cuatro partes: 1º la Optica propiamente dicha con el estudio de la visión, acerca de la cual sólo se conoce una obra de EUCLIDES; 2º la Catóptrica o estudio de la reflexión acerca de la cual se conocen obras de EUCLIDES, ARQUIMEDES, HERON, y PTOLEMEO; 3º la Eskenografía o estudio de la perspectiva de la cual sólo se tienen referencias de una obra desaparecida de ANAXAGORAS, y 4º la Dióptrica o estudio de los ángulos, tratado por HERON.

ARISTOTELES atribuyó a los cuerpos transparentes la propiedad de hacer ver los cuerpos durante el día y de ocultarlos durante la noche, y esta falsa e infantil teoría tuvo innumerables partidarios.

La explicación de la visión dividió los sabios en dos grandes bandos. Los unos, como PITAGORAS, creían que el ojo da nacimiento a rayos visuales, pudiéndose relacionar a esta teoría, la teoría estoica de una "respiración" que emana del ojo, mientras que otros, como ARISTOTELES, entendían que los rayos emanan de los objetos y no de los ojos. Otros en fin, como PLATON, conciliaban las dos opiniones y atribuían la formación de la imagen al encuentro de los rayos que emanan de los ojos con los rayos que provienen de los objetos. Debemos a ALEJANDRO AFRODISIO (siglo III de nuestra era) el relato de esas teorías.

La velocidad de la luz fué considerada como infinita hasta el siglo XVII.

En el estudio de la reflexión, tres leyes fueron descubiertas. Las dos primeras se deben a la escuela de PLATON:

1º "La luz se propaga en línea recta".

2º "El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión".

La tercera, que se debe a HERON, podría enunciarse así: "Cuando un rayo luminoso pasa por dos puntos reflejándose entre ellos, lo hace de tal modo que recorre el camino más corto".

La refracción era menos conocida que la reflexión aunque siempre llamó la atención la ilusión que da un palo de quebrarse al introducirse en parte en el agua. CLEOMEDIO fué el primero en estudiar seriamente esta cuestión y descubrió que, cuando la luz pasa a un medio más denso, cambia de dirección acercándose a la perpendicular; y PTOLEMEO midió, con bastante exactitud, el índice de refracción de la luz al pasar del aire al agua o al vidrio.

Los hombres de todos los tiempos miraron su imagen reflejada en la superficie de las aguas quietas y, ya unos dos mil años antes de J. C., aprendieron a servirse de espejos artificiales, constituidos por chapas de metal o de mineral pulido. Desde el siglo III o IV, se emplearon espejos de vidrio, en cuyo lado posterior se hacía adherir una delgada lámina de plomo.

Pronto se diferenciaron los espejos planos de los cóncavos y convexos y se emplearon los espejos huecos como "vidrios ardientes". Se observó también, el poder de aumento de las gotas de agua y de las lentes, el arco iris, las coronas y los halos de la Luna y del Sol, la descomposición de la luz blanca en varios colores y el espejismo, pero no se dieron explicaciones razonables de estos fenómenos.

En Acústica, se sabía que el aire es el propagador del sonido y ARISTOTELES observó que se oye mejor en invierno que en verano y de noche que de día. El sonómetro era conocido antes de PITAGORAS, quien lo empleó para establecer sus importantes estudios matemáticos del sonido, llegando así al sistema matemático de anotación musical.

ARISTOTELES inventó el porta-voz e HIPOCRATES la corneta acústica para sordos.

Los conocimientos sobre el calor se limitaban a pocas observaciones sencillas e insuficientes, lo que no impidió,

sin embargo, a los filósofos imaginar las más fantásticas hipótesis sobre su causa. DEMOCRITO lo consideraba como un efluvio especial constituido por átomos redondos que se escapan constantemente de los cuerpos. ARISTOTELES, y la mayor parte de los sabios, hacían del calor una cualidad oculta, una especie de poder divino.

Entre los efectos del calor, el más evidente es la dilatación que los antiguos observaron hasta en los gases, como lo demuestra el invento de HERON de un molinillo accionado por la fuerza de la dilatación del aire caliente. Pero estas observaciones fueron poco provechosas, pues es evidente que el estudio del calor no pudo hacer verdaderos progresos sino después del invento del termómetro, en el siglo XVII.

HERON conocía también la compresibilidad del aire y ARISTOTELES, su pesantez. La mayor parte de los filósofos lo consideraban sin embargo, como un espíritu y no como materia; lo que no es de extrañar pues, en pleno siglo XVIII, LAVOISIER afirmaba que era muy difícil convencer a los físicos de que los gases son materia como los líquidos y los sólidos.

La existencia del vacío era también sujeto de grandes discusiones. ARISTOTELES y sus discípulos negaban su existencia, diciendo que la naturaleza tiene "horror al vacío", pero LEUCIPO, DEMOCRITO, EPICURO y, más tarde, LUCRECIO, lo consideraban como necesario a la realización de todo movimiento, pues si no hubiera vacío entre los átomos estos no podrían moverse.

El movimiento no ha sido estudiado con espíritu científico por ningún antiguo y sólo cabe agregar que ARISTOTELES sabía que un cuerpo al caer adquiere más movimiento cuanto más se aleje de su punto de partida; que HERACLITO consideraba el movimiento como causa de todos los fenómenos; que LUCRECIO sabía que, en el vacío, todos los cuerpos deben caer con la misma velocidad; que EUCLIDES observó que la velocidad de caída es tanto mayor cuanto más rarificado es el ambiente, y que HERON decía que, en las máquinas, "lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad".

Otro problema que interesaba naturalmente a los griegos por permitir la creación de teorías sólo basadas en razonamientos, es el origen de la materia.

Mientras muchos consideraban como ilimitado el número de los elementos, otros atribuían la constitución de todas las cosas a un solo principio inicial que era o el aire, o el fuego, o el agua, o la tierra o los cuatro juntos.

Es en este sentido que se destacan las opiniones de TALES, ANAXIMANDRO, ANAXAGORAS, PITAGORAS, HERACLITO, EMPEDOCLES, ARISTOTELES, quien agregó un quinto elemento: el éter, y DEMOCRITO, que estableció una teoría atomística.

Todavía nos queda que hablar acerca de los conocimientos que de electricidad y de magnetismo tenían los antiguos.

TALES es, probablemente, el primero que haya observado la atracción de los cuerpos livianos por el ámbar frotado o, al menos, el primero que haya hablado de este fenómeno. TEOFRASTO descubrió la misma propiedad en otra substancia, un mineral que no podemos reconocer por sus explicaciones. Muchos filósofos han tratado de explicar las causas de esta atracción sin llegar a ninguna conclusión razonable.

Conocieron también, la piedra imán, observaron la atracción y la repulsión del hierro, la acción magnética a través de las substancias, pero se limitaron a observaciones empíricas sin importancia para la ciencia.

TALES DE MILETO
(640-550) (1)

Este filófoso griego, uno de los siete sabios de Grecia, nació en Mileto 640 años antes de Jesucristo y murió de ve-

(1) Debemos hacer constar que todas las fechas relativas a la antigüedad son aproximadas.

jez, en el año 550, mientras asistía a la realización de los juegos olímpicos.

Su padre, EXAMIO, rico comerciante de origen fenicio, radicado en Mileto, se preocupó mucho de la educación de su hijo a quien quería dedicar a la política.

Retirado en el silencio, las meditaciones del joven ensancharon bien pronto los límites de sus conocimientos y, más tarde, cuando ya se sintió capaz de dominar la ciencia, fué a Egipto, donde los sacerdotes conocían y preveían con exactitud los eclipses, dividían el año en doce meses, el mes en treinta días, el día en veinticuatro horas, atribuían los fenómenos de las estaciones y de los días y noches a dos movimientos distintos del Sol alrededor de la Tierra, centro del Universo.

Vuelto a su patria, TALES enseñó estas teorías, grandemente amplificadas por él, y fundó así la célebre Escuela Jónica, cuyo método era: buscar en la observación de la naturaleza la resolución de todos los problemas filosóficos.

Dios, el mundo y el hombre eran para él los tres grandes términos de la filosofía: el hombre dotado de inteligencia, debe estudiar el mundo, que es el efecto, para conocer a la causa, que es Dios.

Lo que, en nuestros días, hace más célebre el nombre de este filósofo, es que se le considera como el primero que haya hablado de magnetismo y de electricidad. Sabía, en efecto, que el ámbar tiene la propiedad de atraer los cuerpos livianos, después de haber sido frotado, y que la piedra de imán atrae al hierro.

Como la mayor parte de los filósofos griegos, que veían en el movimiento la manifestación de un espíritu inteligente y divino, Tales atribuía esas fuerzas atractivas a un espíritu especial.

Es de la palabra "electrón" — ambar amarillo, en griego — que se ha formado nuestra palabra: "electricidad".

El pueblo griego, inclinado siempre a atribuir a divinidades los fenómenos naturales cuyas causas no conocían, creían que este ámbar, que los fenicios les traían de las costas del Báltico, había sido formado por las lágrimas de las hijas del Sol.

En cuanto a la piedra imán, no fueron menos las suposiciones y curiosas teorías que fomentó. Según PLINIO, fué descubierta por un pastor, apellidado "MAGNES", que, al pasar por un campo, sintiendo que los clavos de sus sandalias y la punta de hierro de su cayado eran fuertemente atraídos hacia el suelo, cavó la tierra y encontró entonces la piedra imán, causa de esa atracción.

Otros atribuyen su nombre al de la ciudad de Lidia: Magnesia, donde, según ellos, se encontró la primera de esas piedras.

Todos en fin, abundan en explicaciones más o menos interesantes, sobre la causa del fenómeno y de sus efectos, de las cuales algunas serán citadas oportunamente.

El concepto general que Tales se hacía del Universo, es también muy digno de interés.

Consideraba el cielo como un globo hueco de vidrio, lleno hasta la mitad, de agua sobre la cual flota la Tierra, a la que habría atribuído la forma de una esfera cuya superficie dividía en cinco zonas.

Según el mismo filósofo, el elemento fundamental de la materia es el agua. "Todo se compone de agua y todo, en agua, se resuelve". Así las plantas y los animales no pueden vivir sin agua y el mismo "fuego de los astros" es alimentado por los vapores del agua.

Este problema del elemento inicial de la materia ha particularmente interesado a los filósofos antiguos.

Frente a la opinión de muchos, de que los elementos son innumerables, se levantaron teorías que atribuían a tal o cual elemento la formación de los demás. Esta interesante cuestión, aún por resolver, tiene extraordinaria importancia en nuestros días en que nuevos descubrimientos hacen creer en la posibilidad de un elemento inicial, substratum de la materia, que sería el éter, según algunos.

El sabio milesio no es considerado sólo como el padre de la filosofía griega sino también, como el fundador de la geometría. Se cuenta que sus conocimientos en meteorología eran vastísimos y algunos autores dan fe a una anécdota según la cual Tales, que había previsto que la temperatura del año iba a ser muy favorable al cultivo de los oli-

vos, acaparó de antemano todas las prensas que pudo conseguir y las volvió a vender a precios considerables, cuando los fabricantes de aceite se vieron necesitados de ellas.

Tales desempeñó un papel de cierta importancia en la política de su patria.

Los reyes de Lidia empezaban en esa época a extender sus dominios en Asia, alimentando el propósito de conquistar todas las colonias griegas de aquel continente. Mileto, para evitar el ataque de esos reyes, había celebrado un tratado con ellos.

En el año 563, Creso tomó el poder del reino de Lidia y Tales, entendiendo perfectamente sus propósitos, trató en vano de convencer a sus conciudadanos de unirse para poder resistir a la probable invasión. Los Milesios no escucharon los buenos consejos del sabio y fácil fué la tarea del rey Creso cuando, con tropas numerosas, obligó las ricas ciudades griegas a someterse a su ley, en el año 560.

Esta soberanía no fué, felizmente, odiosa, pues Creso respetaba a los griegos, adoraba a sus dioses y colmó a sus artistas y sabios de generosos dones. Pero esa época de felicidad que hacía olvidar a los griegos sus deseos de independencia, no duró muchos años.

Ciro, rey de los persas y de los medos, aniquiló las tropas lidias, hizo prisionero al rey Creso e impuso su pesada soberanía a los griegos asiáticos. La mayor parte de éstos emigraron más tarde, pues fueron vanos todos sus esfuerzos para librarse de la dominación cruel de los persas.

Tales, sin embargo, no tuvo la desgracia de conocer el precio que pagaban sus compatriotas por no haber escuchado, a tiempo, sus sabios consejos, pues murió en 550, un año antes de inaugurarse la guerra entre los lidios y los persas. (1)

(1) HOEFER, en su "Histoire de l'Astronomie" p. 94, no concuerda con este dato, pues dice: "Tales murió centenario (539 a. J. C.), pues fué testigo de la conquista de Asia Menor por los persas."

Su gloria, grande durante su vida, se volvió inmensa después de su muerte. Los poetas lo cantaron, todos sus compatriotas lloraron en él un padre y un amigo, y en su tumba se grabó esta simple inscripción: "Tan pequeño es aquí el sepulcro de Tales como grande es, en la región de las estrellas, la gloria de este príncipe de los astrónomos".

Ninguna de las obras de Tales ha llegado hasta nosotros, pero sus discípulos, entre quienes se destacan ANAXIMANDRO, ANAXIMENES y PITAGORAS, perpetuaron la obra de este filósofo, que supo arrancar, al misterio de los tabernáculos, los conocimientos que los sacerdotes egipcios ocultaban como tesoros, sembrarlos a pleno viento hacia todos los horizontes y hacerlos florecer bajo el sol hermoso de Grecia y de Asia.

ANAXIMANDRO DE MILETO
(610-547)

Este discípulo de TALES, que le sucedió en la dirección de la escuela jónica, nació, según APOLODORO, en el año 610 antes de J. C. y murió en 547. Sus opiniones no están de acuerdo con las de su maestro y, bien al contrario, se oponen muchas veces directamente a ellas.

Creía que el fuego tiene la facultad de transformar la tierra en agua y ésta en aire, pero que todos estos aspectos de la materia tienen un mismo principio inicial que llamaba "infinito".

ANAXIMANDRO enseñaba entre otras cosas, que la Tierra tiene la forma de un cilindro cuyo diámetro de base es tres veces más grande que su altura; que no se necesita ninguna explicación especial para justificar su equilibrio pues, ocupando el centro del Universo, es solicitada igualmente por todas partes y no hay razón para que se incline más hacia un lado que hacia otro.

Se atribuye también a ese filósofo el invento del gnomón, pero parece más probable que no haya hecho más que divulgar su uso en Grecia, hacia 580.

Anaximandro fué el primero que trazara mapas celestes y mapas geográficos del mundo conocido en su época.

JENOFANES
(617-520)

JENOFANES, filósofo y poeta griego, que nació en Jonia en 617 antes de J. C. y murió en Elea en 520, no tiene para la historia de la Física, importancia alguna. Sólo figura su nombre por haber sido el fundador de la Escuela Eleática (1), que trató de apartar los espíritus de las preocupaciones científicas, por considerar como erróneos todos los conceptos que puedan hacerse acerca de la materia.

Por buena e interesante que haya sido, bajo ciertos aspectos, la obra de esta importante escuela filosófica, no debemos olvidar que ha tenido para la ciencia una influencia perniciosa pues, dudando de ella, le arrebató hombres superiores como PARMENIDES, ZENON y el mismo SOCRATES.

ARISTOTELES cita, sin embargo, algunas ideas científicas de Jenófanes y, entre ellas, su concepto de la forma de la Tierra, que consideraba esférica o como un cono truncado cuya cima habitamos y cuya base se pierde en el infinito.

---

(1) HOEFER, en su "Histoire de l'Astronomie", cree que no es exacta esta afirmación, porque encuentra que Jenófanes seguía más bien a los Jónicos que a los Pitagóricos. Atribuye entonces a Zenón (450 a. de J. C., amigo y discípulo de Parménides) la fundación de la Escuela Eleática.

FERECIDES
(600-543)

FERECIDES, otro filósofo de la escuela jónica, nació en Siros, una de las Cicladas, a fines del siglo VII antes de J. C. y murió en el año 543.

Poco se sabe acerca de la vida de ese filósofo pero su nombre se encuentra unido a los de los sabios de la antigüedad que más defendieron la teoría según la cual el mundo es un vasto disco soportado por montañas, teoría algo curiosa pues sería tan difícil explicar en ella cómo se sostienen esas montañas como explicar el equilibrio de la Tierra misma. No hay duda que estas ideas provienen de la antigua creencia india de que la Tierra descansa en el lomo de los elefantes divinos. Este filósofo consideraba también a la tierra como elemento inicial de la materia.

Ferécides fué probablemente maestro de PITAGORAS y fué, a su vez, discípulo de PITACO, uno de los siete sabios de Grecia.

CICERON le atribuye el establecimiento de la hipótesis de la inmortalidad del alma.

ANAXIMENES
(570-499)

ANAXIMENES DE MILETO nació en el año 570 y murió en 499. Fué, según algunos, discípulo de ANAXIMANDRO, pero debe más bien admitirse que TALES fuera su maestro pues, en todos sus trabajos, se siente la influencia directa del fundador de la escuéla jónica y no aquélla, bien distinta, de su sucesor.

Para Anaxímenes, el aire es el principio de todas las cosas: "Todo viene del aïre, todo al aire vuelve". La Tierra y el agua son aire condensado en grados distintos; el fuego es aire dilatado.

El aire es infinito, inalterable y su eterno movimiento es origen de todo; no es, pues, sino la Divinidad misma. Su cosmogonía recuerda las hipótesis de KANT (1).

Según PLINIO, Anaxímenes sería el inventor del cuadrante solar, pero ningún hecho comprueba esta afirmación.

En cuanto a la forma de la Tierra, este filósofo tenía la misma opinión que FERECIDES, opinión compartida también por LEUCIPO, EMPEDOCLES, y la mayor parte de los griegos del tiempo.

PITAGORAS
(569-490)

PITAGORAS DE SAMOS, uno de los filósofos de más talento de su tiempo, y, según PLATON, "el más grande de los filósofos y el más sabio de los hombres", nació en dicha isla en el año 569 antes de J. C. y murió en Tarento hacia el año 490.

Pitágoras pasó largos años dedicado al estudio sucesivamente en su patria con HERMODOMAS, viejo filósofo que se sintió bien pronto inferior a su propio discípulo; en Lesbos, con FERECIDES; en Mileto, donde siguió las enseñanzas de TALES y de ANAXIMANDRO; en Fenicia; en Egipto, en que tuvo que hacerse sacerdote para ser iniciado en los secretos de los religiosos de Heliópolis, Memfis, y Tebas y donde fué hecho prisionero por los persas que lo llevaron a Babilonia, donde conoció quizá a Zoroastro. Pitágoras volvió a Grecia con los elementos de una filosofía nueva que había de servir de base a la escuela que iba a formar.

La colonia jónica de Asia sufría entonces la dominación cruel de los persas. En Samos, el tirano Polícrates había derrocado el régimen democrático que estaba en vigor, y Pitágoras abandonó su isla natal, probablemente a causa de esa situación política.

---

(1) Hoppe. "Histoire de la Physique" p. 12.

En 533, fué a establecerse en Crotona, importante ciudad de la colonia que los aqueos habían establecido en la Baja Italia. Allí, fundó su escuela, que pronto contó con numerosos adeptos.

La idea central de su sistema era el respeto a las leyes establecidas y conservadas por las clases superiores, mientras que la organización de su aristocrática escuela la hacía parecer á una orden monástica en que cada discípulo debía sujetar su vida a reglas estrictas.



PITAGORAS
(Grabado del Siglo XVI)

La escuela contaba con internos y externos. Todo nuevo discípulo debía ser externo durante cinco años sin tener más derecho que el de escuchar y admitir sin hablar y sin ver, pues una división separaba a los nuevos adeptos del maestro y de los internos, siendo éstos los únicos que podían pedir explicaciones y aún discutir con el maestro.

La enseñanza empezaba por las matemáticas, luego se estudiaba la naturaleza y, después, la teología.

Las ocupaciones de los internos y del maestro eran rigurosamente organizadas: de mañana, a la salida del sol,

se bailaba y cantaba para armonizar el espíritu; luego, se estudiaba, ya en la casa del maestro, ya paseándose; antes de comer se hacían ejercicios y juegos. Las comidas eran también sometidas a severas ordenanzas: la fruta, la miel, el pan eran preferidos a la carne y los vinos. De noche, antes de retirarse, un profundo silencio reinaba sobre la escuela y todos se entregaban a la lectura o la meditación.

Pitágoras se hizo muy rápidamente influyente, pues la nobleza encontraba en su orden un apoyo inmenso. Es así que, cuando la democrática y poderosa ciudad de Sibaris pidió ciertas explicaciones a la de Crotona por haber recogido sus aristócratas desterrados, Pitágoras aconsejó la guerra a pesar de reconocer la inferioridad de las armas crotoniatas.

Crotona venció y su venganza fué cruel. Pero la dureza con que su aristocracia trató a su propio pueblo, provocó una sublevación general en que Cilón, animado por un rencor personal hacia los pitagóricos, tomó el mando de las fuerzas democráticas y persiguió tenaz y cruelmente a todos los partidarios del filósofo samio.

La escuela fué incendiada, los discípulos asesinados, con excepción de algunos que, como FILOLAO e HIPARCO, pudieron salvarse.

El maestro tuvo que huir; se refugió en Tarento, donde volvió a enseñar y donde murió pocos años después.

De los amplios conocimientos de Pitágoras sólo quedan algunos rasgos aislados en óptica, acústica y astronomía, pero la mayor parte de ellos nos son absolutamente desconocidos, pues de los tan numerosos discípulos de la escuela, sólo FILOLAO nos dejó obras escritas.

En óptica, debe recordarse la teoría de la visión de Pitágoras, que consistía en suponer la existencia de rayos que emanan de los ojos y palpan los objetos en una especie de tacto. Esta curiosa opinión fué compartida, con o sin modificaciones, por muchos sabios de la antigüedad y no ha sido completamente rechazada de la ciencia sino en el siglo IX por el árabe AL FARASI.

La influencia de Pitágoras en acústica ha sido enorme. Estudió matemáticamente las vibraciones sonoras, in-

ventó un sonómetro, propuso un método matemático de los intervalos, que no fué aceptado a pesar de su precisión. Fué, en fin, entre los antiguos, el único que comprendiera la importancia del estudio científico de la acústica para la música y la ciencia en general.

NICOMACO cuenta así las circunstancias que hicieron observar a Pitágoras la relación matemática existente entre los sonidos:

"Pitágoras paseaba, pensando en problemas de fí-
" sica, cuando el sonido de martillos sobre un yun-
" que, llegó a sus oídos. Intrigado, se acercó a la fra-
" gua y vió obreros que amartillaban un trozo de hie-
" rro. Oyó que los martillazos marcaban la cuarta,
" la quinta y la octava. Observó entonces que el que
" daba la octava pesaba la mitad del más pesado; el
" de la quinta pesaba las dos terceras partes y el de
" la cuarta los tres cuartos .Vuelto a su casa, tomó
" cuerdas, las suspendió en puntos fijos, en sus ex-
" tremos libres colgó pesas en la proporción de los
" pesos de los martillos y, haciéndolas vibrar, obtuvo
" los mismos intervalos que los que había oído en el
" taller del herrero."

Esta anécdota debe indiscutiblemente haber sido mal relatada, pues sabemos que la experiencia no la comprobaría. En efecto, para producir la cuarta, la quinta y la octava, son las longitudes de las cuerdas las que deben estar en la proporción de 3/4, 2/3 y 1/2 a tensión igual; pero a longitud igual, las pesas deben estar en la proporción 16/9, 9/4 y 4.

Debe observarse, además, que este estudio de la música hecho por Pitágoras, inspiró a éste los principios del estudio de las proporciones, de enorme influencia sobre el desarrollo de las matemáticas de la antigüedad.

Cuando Pitágoras hizo así entrar la música dentro del amplio plano de las matemáticas, hizo hacer un progreso notable a la ciencia pero no así al arte. Hubo por causa de esto, en la Antigüedad, dos sectas de músicos que seguían,

los unos el método matemático de Pitágoras y los otros el método sensual de ARISTOXENES. Ambas tenían el error de no saber conciliar el arte con la ciencia, el sentimiento con el método.

En astronomía, Pitágoras es generalmente considerado como el primero que haya afirmado la esfericidad de la Tierra y se supone que conocía también su movimiento giratorio pero que, por temor a la acusación de ateismo, no se atrevió nunca a defender abiertamente esas nuevas ideas. Se le atribuye, además, una vaga comprensión de la atracción universal.

Su concepto de la materia era, sin embargo, difícil de entender. Admitía una teoría atomística como la que defendiera DEMOCRITO y su escuela de Abdera, pero al lado de esta tan clara visión, establecía una oscura teoría en que consideraba la materia como unida a sus propiedades por una relación comparable a los números, y por un razonamiento que es difícil seguir, llegaba a considerar los distintos aspectos de la materia como formas geométricas: la tierra como un cubo, el fuego como una pirámide.

FILOLAO y PLATON, partidarios ambos de esa extraña idea, no llegan a hacérnosla entender mejor.

Agreguemos, en fin, que Pitágoras fué el primero entre los antiguos que indicara un método de estudio de los fenómenos naturales y que siempre afirmó el indiscutible valor de la ciencia.

PARMENIDES
(519-440)

PARMENIDES nació en Elea, colonia griega en Italia, en el año 519 antes de J. C. y murió en 440.

Perteneció a la escuela eleática fundada por JENOFANES y es considerado por algunos como discípulo de éste (lo que nos obligaría a rectificar las fechas antes citadas, pues JENOFANES murió en 520).

La influencia de Parménides se hizo grandemente sentir en su ciudad natal a la que dió un código de leyes, que sus conciudadanos ratificaban, año tras año.

Su teoría filosófica era basada en un absoluto desprecio de los estudios físicos y en el solo reconocimiento del Ser.

La Filosofía debe mucho a este sabio, pero la Física no le debe ningún progreso, pues, bien al contrario, parece seguro que fué por su influencia que SOCRATES fundó sus teorías filosóficas llenas de aversión hacia la ciencia.

Parménides hizo, sin embargo, algunas hipótesis científicas, a las cuales, por otra parte, no daba importancia alguna.

Consideraba el mundo como una mezcla de fuego y tierra, de luz y tinieblas, de calor y frío, de amor y odio... de fuerzas opuestas, en fin. Algo de esa idea se vuelve a encontrar en la filosofía de ARISTOTELES.

El nombre de Parménides se cita generalmente entre los de los sabios de la antigüedad por atribuirle algunos, la primera idea de la esfericidad de la Tierra.

FILOLAO
(?-440)

FILOLAO, filósofo de la escuela pitagórica, nació a fines del siglo VI antes de J. C., en Tarento o Crotona, y murió en Heraclea hacia 440.

Pudo escapar del desastre de la escuela pitagórica en Crotona y, después de la muerte de su maestro, tomó la dirección de la nueva escuela que PITAGORAS había fundado en Tarento.

Es allí que enseñaba que la Tierra es redonda y que gira, con los planetas, alrededor del Sol (1). Si se diera fe a esta muy dudosa afirmación debería considerarse a Filo-

(1) FILOLAO no menciona exactamente el Sol sino el "fuego central" y es posible que, interpretarlo como el Sol, sea una opinión demasiado optimista. (v. HOEFER, "Hist. de l'Astr., p. 109 y sig.).

lao y no a ARISTARCO como el primer precursor de COPERNICO.

Dejó una obra, hoy desaparecida, titulada "Las Bacantes", que es una de las muy pocas que exponen las teorías de la escuela pitagórica, y sin la cual poco o nada se sabría acerca de ellas.

Entre otras, expone y defiende la incomprensible teoría de los números basada en este axioma: "Todas las cosas pertenecientes a nuestra facultad tienen un número común."

LEUCIPO y DEMOCRITO
(500-?) y (494-404)

Hemos reunido aquí los nombres de estos dos filósofos griegos, pues así siempre se encuentran en las obras antiguas que se refieren a sus trabajos, cuyo principal objeto es el establecimiento de la teoría atomística.

LEUCIPO ha sido, probablemente, el maestro de DEMOCRITO y el fundador de la escuela de Abdera, ciudad nativa de ambos, en Tracia.

Acerca de la vida del primero, poco o nada se sabe con seguridad. Lo más probable es que haya nacido en Abdera hacia 500 antes de J. C. y que fuera discípulo de ZENON.

De Demócrito algo más se sabe, pues se encuentran frecuentes referencias sobre su vida en los autores antiguos.

Créese que nació en Abdera en el año 494 y que murió en 404. Hijo de padres sumamente ricos, derrochó su inmensa herencia y pasó la mayor parte de su vida en la pobreza, socorrido por un hermano.

Viajó mucho; estudió en Egipto, en Persia, en Caldea y hasta en la India. Pronto se hizo célebre y el gran respeto que infundía su saber lo salvó del oprobio en que sus contemporáneos mantenían a los que hubieran malgastado la herencia de sus padres.

La vida de Demócrito está rodeada de tantas fábulas y anécdotas, que dificultan grandemente un estudio biográfico serio.

Es clásico su admirable espíritu de observación sobre el cual existen no pocas historias. Según una fábula, que CICERON contó, Demócrito se habría cegado voluntariamente para poder reconcentrarse mejor y no distraerse en sus estudios. Este sublime sacrificio no habría en nada afectado su buen humor y su risa siempre fué tan alegre y tan juvenil que se hizo proverbio decir: "reirse como Demócrito".

Escribió numerosas obras sobre filosofía, matemáticas y física, muchas de las cuales serían, según dicen, ideadas o planeadas por Leucipo.

Leucipo y Demócrito parecen haber sido los primeros que edificaran una verdadera teoría atomística por la cual afirmaban que el Universo tiene una constitución elemental única que es el átomo, partícula invisible, impenetrable e indivisible, animada de movimiento propio y cuyas vibraciones provocan todas nuestras sensaciones.

La causa de la diferencia entre las distintas substancias no descansa en la constitución de sus átomos sino en su extensión, su forma y su disposición.

Esta teoría permitió a sus autores explicar la formación del universo prescindiendo de la evocación de divinidades y otras fuerzas misteriosas. Por esto siempre se ha tratado de "materialista" a esa teoría filosófica y la religión se ha opuesto a su difusión.

Este adjetivo de "materialista" podría considerarse mal aplicado a esa teoría pues, por lo contrario, está relacionada con el concepto moderno de la no existencia de la materia y la sola existencia de la energía; es "materialista", sin embargo, pues buscaba la explicación de la vida y de la naturaleza en la materia.

La parte primera de la teoría atomística de la escuela de Abdera, o sea la que establece que la materia está constituida por átomos indivisibles e indestructibles, ha sido enunciada de nuevo unos dos mil años después por los químicos del siglo XIX.

La segunda parte, la que atribuye a todos los átomos la misma esencia constitucional y considera que la heterogeneidad de los cuerpos sólo se debe a diferencias de distribución y forma de esos átomos, es nuevamente defendida por los físicos del siglo XX, a raíz del estudio de los fenómenos de radioactividad.

Leucipo y Demócrito que aplicaban su concepto de la atomicidad hasta en el estudio de la formación de la luz, considerada como emanación de átomos llevadores de la imagen del cuerpo iluminado. no hacían sino prever la teoría de emisión que, destruida en el siglo XIX, vuelve a aparecer, bajo otro aspecto, en las más modernas teorías de la energía radiante y de la luz.

Demócrito fué, entre los antiguos, uno de los sabios que dieron más importancia a la experimentación y sabemos aún que practicó la vivisección para el estudio de la vida animal.

Entre las experiencias que recuerda, merece ser señalada su observación de que una jarra porosa llena de agua salada deja salir agua dulce. Esta experiencia estudiada más detenidamente por ARISTOTELES puede ser considerada como la más antigua referencia al fenómeno de la ósmosis.

El nombre de Demócrito debe ser seguido en la historia de la ciencia, casi inmediatamente, por los nombres de GASSENDI, DESCARTES y NEWTON a pesar del tiempo que los separa. No puede hacerse mejor elogio de su obra, y puede agregarse además, como lo hace DAMPIER (1), que "la supresión virtual de la teoría atómica de Demócrito bajo la crítica negativa de PLATON y de ARISTOTELES, constituyó una desventura, desde el punto de vista científico."

---

(1) Dampier-Dampier "Historia de la Ciencia", p. 42.

HERACLITO
(500-440)

HERACLITO, llamado por sus contemporáneos "el Físico", nació hacia el año 500 a. J. C. en Efeso y murió a los sesenta años.

Este filósofo de la Escuela Jónica creía que el fuego es el elemento inicial de todo, que de él salió el mundo, que en él se resumirá.

Pero no entendía por fuego lo que vulgarmente llamamos así, sino un poder inteligente y sutil como la llama. Este fuego, al condensarse, da la Tierra, que se cambia en agua y luego en aire, por su acción.

De allí, Heráclito deduce que los Jónicos se equivocan cuando estudian la materia tal como nuestros sentidos la aprecian, pues debe ser considerada como un estado momentáneo por el cual pasa el fuego inmutable cuyo movimiento eterno es causa de todos los fenómenos.

Debe citarse un pensamiento de este filósofo: "Muevo, luego existo", que nos hace pensar en otro expresado unos dos mil años después por DESCARTES: "Pienso, luego existo". Encontramos también en Heráclito la afirmación de que todas las cosas están animadas en la naturaleza de un movimiento continuo y obligatorio y que ninguna cosa se pierde. Es esta la idea inicial del principio de la conservación de la materia que ANAXAGORAS y EMPEDOCLES también expresaron en forma clara.

ANAXAGORAS
(500-428)

ANAXAGORAS nació en la ciudad jónica de Clasomene, en el año 500 y murió de hambre en Lampsaco en 428, desterrado por sus compatriotas por haber defendido valientemente lo que él consideraba como la verdad.

Hijo de familia pudiente, Anaxágoras estudió con ANAXIMENES y le sucedió en la dirección de la escuela

jónica en la que desempeñó un papel preponderante. Fué maestro de hombres tan célebres como PERICLES, EURIPIDES y SOCRATES, a quienes enseñó las ideas materialistas de la escuela jónica.

Sus enseñanzas extrañan aún en nuestros días, por la justeza de muchas de sus ideas.

Fué partidario de la teoría atómica, como LEUCIPO y DEMOCRITO, y se atrajo así el odio de los partidarios de la religión tradicional. Algunos autores consideran a Anaxágoras como el verdadero padre de la atomística. (1)

La materia es, para este filósofo, un conjunto confuso e indeterminado de elementos semejantes, "homoemerias", partículas indestructibles, átomos que en sí contienen todo lo elemental, pues son pequeños mundos completos. Estas partículas no pueden ser divididas, ni destruidas, ni creadas y, por consiguiente, el universo siempre consiste en un número invariable de ellas. De allí deduce que las palabras muerte y nacimiento son palabras vanas pues nada nace ni nada muere en este mundo, en el que sólo existen transformaciones, uniones y separaciones de átomos. (Principio de la Conservación de la Materia).

Observó que cuando se detiene la fuerza centrífuga, los cuerpos siguen la tangente del movimiento giratorio, opinión no compartida por ARISTOTELES.

Anaxágoras discutió la idea de TALES según la cual el mundo flota sobre agua, defendiendo la creencia de que flota sobre aire condensado, como lo sostenían ANAXIMANDRO y ANAXIMENES. Fué precursor de LAPLACE, pues atribuía la formación de los cuerpos celestes a su desprendimiento por fuerza centrífuga de la nebulosa inicial.

El aire fué considerado por muchos durante la antigüedad y la edad media como un espíritu. Anaxágoras, convencido de lo erróneo de esta opinión, encontraba una prueba de la materialidad del aire en el hecho de que este gas forma burbujas de forma bien determinada cuando se en-

(1) Hoppe.-Hist. de la Physique, p. 13.

cuentra en un líquido, burbujas que pueden ser consideradas como verdaderos cuerpos apreciables por nuestros sentidos.

Este mismo sabio fué uno de los primeros que mencionaran los aerolitos. Consideraba a la Luna como un mundo parecido al que habitamos, pero el Sol sería, según él, un vasto aerolito, una masa de piedra o hierro candente, más grande todavía que... el Peloponeso! (1)

Atribuir al Sol tan "exageradas" dimensiones era sin duda un atrevimiento incalificable que bien merecía su castigo y no es de extrañar que los fanáticos de las ideas tradicionales (y los había hasta en la culta Atenas) persiguieran al autor de tan revolucionarios conceptos.

Podría sin embargo encontrarse otra causa para explicar las injusticias que se cometieron con Anaxágoras: Pericles, discípulo y amigo del sabio, era el hombre más poderoso de Atenas, que, gracias a sus maravillosas cualidades de estadista, vivía una era de felicidad y de gloria. Un fuerte partido de envidiosos empezaba, sin embargo, a fomentar antipatías alrededor del gran hombre, antipatías que pronto se manifestaron por ataques injustos hacia sus amigos y los miembros de su propia familia.

Anaxágoras fué una de las primeras víctimas de esta desleal maquinación y, en el año 432, fué acusado de ateismo e irreverencia hacia los dioses.

Pericles no pudo evitar ese acto odioso y sólo huyendo, consiguió el anciano filósofo salvarse de la muerte.

Lámpasco fué el lugar de destierro que le esperaba y fué allí que, pocos años más tarde, el célebre Anaxágoras se dejó morir de hambre.

---

(1) ANAXIMANDRO ya afirmaba sin embargo que el Sol es al menos tan grande como la Tierra (Hoefer. Hist. de l'Astr. p. 98).

EMPEDOCLES
(444-?)

Este filósofo nació en Agrigento en 444 a. de J. C. Su vida es casi desconocida y nada se sabe acerca de la fecha de su muerte, la que se cree fué causada por una de las erupciones del Etna.

EMPEDOCLES estudió todas las doctrinas de su tiempo y particularmente las de los Jónicos, de los Pitagóricos y de los Eleáticos.

Creía en cuatro elementos primordiales: el fuego, el aire, el agua y la tierra, formados por átomos sometidos a fuerzas de atracción y repulsión que provocan la composición y descomposición de los cuerpos. Como HERACLITO y ANAXAGORAS, expresó el principio de la conservación de la materia.

Todos los cuerpos son porosos, y los poros son especies de canales por donde se escapan las fuerzas ocultas como el calor, la luz, el poder atractivo del imán, etc.

Empedocles reconocía, como ANAXAGORAS la materialidad del aire y encontraba una prueba suficiente de ello en el hecho de que el aire contenido por un recipiente volcado en un líquido, impide al líquido de penetrar.

Explicaba que para mantener la Tierra en equilibrio, no es necesario que flote en agua o en aire condensado pues el rápido movimiento giratorio del cielo alrededor de ella debe ser considerado como la única causa de este equilibrio.

En una teoría de la propagación de la luz, Empedocles argumentó a favor de la opinión llamada "epicúrea" compartida por LEUCIPO, DEMOCRITO y EPICURO, y desarrollada por LUCRECIO, según la cual las imágenes visuales se deben a partículas emanadas del cuerpo, que penetran luego en el ojo y excitan el nervio óptico.

Este filósofo tuvo una notable actuación en la política de su ciudad natal, que abandonó para el Peloponeso en 405, cuando Agrigento cayó en poder de los cartagineses.

ARQUITAS
(440-380)

ARQUITAS nació en Tarento 440 años antes de J. C. y pereció en un naufragio en las costas de la Pulla en 380.

Fué amigo de PLATON.

Se le atribuye el invento de la rosca, de la polea, de la cometa y es citado como el primer precursor de la aviación por haber construido una paloma mecánica hacia el año 390.

Arquitas se especializó, como la mayor parte de los sabios de la Antigüedad, en el estudio de la mecánica práctica y se distinguió también en matemáticas y astronomía.

En matemáticas, su nombre es a veces citado por haber sido el primero en resolver el problema de la duplicación del cubo.

No fué menos grande como estadista que como hombre de ciencia y se recuerdan también sus hechos militares como general.

Según algunos autores, PLATON habría reprochado a Arquitas de haber aplicado las matemáticas puras a la mecánica aplicada, pero es difícil creer que el gran PLATON hubiese hecho un reproche de semejante título de gloria.

PLATON
(429-347)

PLATON nació en Atenas en 429 y murió en la misma ciudad en 347. Descendía de Codro, último rey de Atenas, por su padre, y de Solón por su madre.

Fué discípulo de SOCRATES, maestro de ARISTOTELES, contemporáneo de SOFOCLES, EURIPIDES, MENANDRO, ARISTOFANES, TUCIDIDES, JENOFONTE, PRAXITELES, de todo ese hermoso cenáculo de hombres de genio que Pericles había sabido reunir en Atenas.

Su primer maestro fué un cierto Dionisio acerca de quien poco se sabe si no es que le enseñó la Gramática e hizo nacer en él ese profundo conocimiento de la armonía del lenguaje que caracteriza su estilo.

Muy joven aún, Platón se entregó a la poesía y escribió cantos y aun tragedias, pero a los diez y ocho años oyó las enseñanzas de SOCRATES y la filosofía lo cautivó. Destruyó entonces todas las obras de su juventud, las sacrificó a su nueva vocación y privó así a la posteridad de admirar obras indudablemente hermosas a juzgar por la belleza con que se expresaba aun cuando poco se esforzaba para agradar por el estilo.

CRATILO le enseñó las teorías de HERACLITO, y Platón estudió los Eleatas, los Jónicos, JENOFANES ANAXAGORAS y PARMENIDES.

SOCRATES lo distinguía y lo apreciaba, pero si lo influenció en el estudio de la moral de los hombres, no le comunicó, dichosamente, su desprecio de la ciencia.

Platón se cambió bien pronto en algo más que un simple auditor del maestro; vulgarizó sus enseñanzas publicándolas en célebres diálogos en los que hablaba SOCRATES en el estilo de Platón, a tal punto que el maestro mismo, al leer sus ideas tan bien traducidas, se exclamó: "Por Minerva! Qué hermosos discursos me hace decir este joven!"

Cuando SOCRATES fué injustamente condenado por el rigor religioso que, como ya lo hemos visto, cometía abusos hasta en Atenas, que goza de tanta fama de libertad ideológica, Platón indignado abandonó su ciudad natal. Emprendió entonces una serie de largos viajes que lo llevaron a Italia, a Egipto y quizás a Persia.

Estuvo así en relaciones con EUCLIDES DE MEGARA, con ARQUITAS DE TARENTO que le enseñó las teorías pitagóricas, con TEODORO DE CIRENE, con EUDOXIO DE CNIDE y con muchos astrónomos egipcios.

Después de diez años de ausencia, en 390, regresó a Atenas pero fué para ausentarse de nuevo, pocos meses des-

pués, e ir a Sicilia donde reinaba el tirano Dionisio el Antiguo.

Los abusos que cometía ese monarca provocaron severas críticas de Platón, lo que le hubiera seguramente costado la vida si no hubiese intervenido en su favor su amigo Dión, yerno de Dionisio. Este lo salvó de la muerte pero no de la esclavitud y es así que el filósofo fué vendido y llevado a la isla de Egina donde Dión, su bienhechor, pudo rescatarlo.

Según algunos autores, Platón no habría sido vendido como esclavo por Dionisio ni rescatado por Dión de Siracusa, pero, después de haber escapado de la muerte gracias a la intervención de éste, el filósofo, que había sido recomendado a un embajador de Esparta que volvía a su patria, lo habría accmpañado siendo traicionado y abandonado por él en la isla Egina donde era tal el odio hacia Atenas que cualquier ateniense que desembarcase en sus costas era condenado a muerte. Según estos mismos autores, los jueces de Egina habrían reconocido al célebre filósofo y en vez de condenarlo, lo habrían vendido a un habitante de Cirene, Anicerio, quien a su vez le devolvió la libertad sin aceptar rescate alguno y pronunciando estas admirables palabras: "Los atenienses no son los únicos en conocer a Platón ni los únicos dignos de ayudarlo".

En 388, de vuelta en Atenas, abrió su escuela en los jardines de Academo por lo que le dió el nombre de "Academia". Es allí que el maestro daba sus conferencias y reunía a sus discípulos, organizando banquetes, comidas frugales que nada tenían de festines ni de orgía, donde los vinos eran reemplazados por "elevadas conversaciones llenas de elevadas ideas".

Con la muerte de Dionisio el Antiguo el poder de Sicilia pasó a su hijo, joven inexperto que prefirió dejar este cargo a su cuñado, Dión.

Este se apresuró en llamar a Platón para que sus enseñanzas y sus consejos pudieran hacer de Dionisio el Joven un monarca consciente.

Platón volvió a Sicilia de la que tenía tan tristes recuerdos y encargó a su discípulo HERACLIDES DE PONTO, de la dirección de su escuela.

En un principio, todo sucedió como se esperaba. El joven monarca trató de satisfacer a su pueblo, guiado por el espíritu democrático del filósofo hasta que, en 365, inducido por cortesanos celosos del poder de Dión, desterró a su cuñado a pesar de las protestas de Platón, quien, disgustado por esta acción, no quiso aceptar más su hospitalidad y volvió a Atenas.

Dionisio, sin embargo, extrañó a su fiel consejero y lo mandó llamar por ARQUITAS accediendo a su condición de perdonar a Dión. Platón volvió entonces a Sicilia pero como Dionisio no cumpliera con su promesa, abandonó para siempre esa isla y regresó definitivamente a Atenas mientras que su discípulo Dionisio el Joven imponía a sus súbditos una tiranía infame.

La buena influencia de las enseñanzas de Platón no tardó, sin embargo en hacerse sentir en Sicilia: En 357, Dión derrotó al tirano y devolvió la libertad a los Siracusanos, pero su poder duró sólo tres años, pues en 354, fué asesinado por Calipo. Después de su muerte sus amigos y parientes recurrieron de nuevo a Platón, que les dió indicaciones para la reorganización de la isla.

Platón no vivió mucho después de su vuelta de Sicilia y, cuando sus despojos mortales fueron enterrados en los jardines de la Academia, que tanto había animado con sus lecciones, Atenas entera estuvo de duelo; el día de su nacimiento fué consagrado fiesta solemne; Mitrídates fijó sus rasgos en el mármol y en su tumba se inscribió: "Esta tierra contiene el cuerpo de Platón. El cielo contiene su alma dichosa. Todos los hombres honestos deben respetar su virtud."

Al juzgar la obra científica de Platón, debemos señalar, en primer término, que ésta inicia un período nuevo de historia de la ciencia griega, pues inaugura el período "escrito" o sea el período del cual han sido conservadas, sino todas, muchas obras que permiten seguir con mayor certeza la evolución intelectual.

No cabe extendernos aquí en el estudio de las teorías filosóficas de Platón y sólo podemos escoger entre ellas algunas ideas relacionadas con la Física. Entre ellas citaremos su teoría de la visión.

PITAGORAS, como ya lo hemos visto, pretendía que los rayos luminosos o visuales salen de los ojos y llegan a los objetos que rodean como especies de tentáculos (teoría de los rayos visuales). DEMOCRITO, al contrario, creía que los rayos luminosos provienen de los objetos y penetran en los ojos para formar la imagen (teoría epicúrea de las imágenes).

Platón adoptó una teoría conciliadora en que admitía la existencia de dos clases de rayos, los unos emanados de los ojos y los otros de los objetos y atribuía la formación de la imagen al encuentro de estos rayos (teoría de la sinaugia de Platón).

Más importancia tiene, sin duda, para la ciencia, el enunciado de la ley principal de la óptica hecho por él o por los discípulos de su escuela, más o menos en los siguientes términos: La luz se propaga en línea recta y al reflejarse, el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. En este campo de la óptica, debe recordarse también, que Platón conocía la reflexión de la luz en espejos cóncavos cilíndricos.

La opinión de Platón sobre la atracción de cuerpos livianos por el ámbar, era que esta atracción se debe a una aspiración semejante a la de nuestra respiración. Sobre el magnetismo, estaba de acuerdo con TALES y DIOGENES en atribuirlo a un espíritu especial, una fuerza consciente, pero observa que la piedra comunica su propiedad al hierro (inducción magnética).

Acerca del equilibrio de la Tierra su opinión concuerda con la de ANAXIMANDRO, expresándola así: "La Tierra no necesita ni del aire, ni de ningún apoyo para no caer. Se mantiene por su propio equilibrio en el cielo que la rodea por todas partes igualmente". Conocía la esfericidad de la Tierra, de la Luna y del Sol y la rotación de la Tierra alrededor de su eje, y emitió la idea del sistema heliocéntrico.

Platón tenía un concepto bastante exacto de la importancia de la experiencia en la ciencia y, aunque contradiciéndose a veces, afirmaba que "ella debe ser el fundamento de todos nuestros discursos". Si, a pesar de estos conceptos, el gran discípulo de SOCRATES no ha llegado a hacer progresar la ciencia (1) tanto como podría haberse esperado de él y hasta se considera su influencia como "desastrosa", es que un espiritualismo excesivo lo alejaba de la observación científica de la naturaleza.

Platón admitía la posibilidad del vacío artificial, pero afirmaba que no podía existir en la naturaleza salvo en los pequeñísimos espacios que separan las partículas últimas de los cuerpos. Consideraba que — no pudiendo existir el vacío — más allá de la atmósfera, los espacios celestes están ocupados por un aire más ténue: el Eter.

Diferenciaba los cuerpos por las diferencias de su peso y llamaba "Estática" el estudio del peso de los cuerpos.

Hizo ciertas afirmaciones acerca del movimiento progresivo y el rotativo, y observó la conservación del plano de rotación en el movimiento de un trompo.

Consideró que no puede estudiarse la acción de un cuerpo sobre otro si no existe un contacto entre dichos cuerpos. Describe con precisión el trasiego de un líquido por medio de un hilo de lana (capilaridad).

En acústica, Platón sigue fielmente a PITAGORAS. En el estudio del calor, distinguió claramente el calor, efecto del fuego, causa, y afirmó que el calor proviene del Sol pero que también lo produce el movimiento y el frotamiento. El fuego se introduce entre las partículas de los cuerpos y las separa (dilatación), y cuando se retira el fuego, el aire lo reemplaza y reúne las partículas (contracción), pues no debe considerarse el frío como algo distinto del calor; es un grado relativo del calor.

---

(1) Dampier-Dampier, "Historia de la Ciencia" p. 42.

He aquí pues algunos de los muchos datos científicos que se encuentran expuestos en las obras de Platón y que sirvieron de base a muchos estudios posteriores en la Antigüedad y en la Edad Media.

EUDOXIO DE CNIDO
(408-355)

EUDOXIO, médico famoso, geógrafo, astrónomo, matemático, filósofo y legislador griego, que nació en Cnido (Asia Menor) 408 años a. de J. C. y murió en 355, ocupa el tiempo que media entre PLATON y ARISTOTELES.

Discípulo de ARQUITAS en matemáticas y de PLATON en filosofía, fué expulsado de la escuela de este último pero se ignora la razón que provocó tan radical medida.

Recomendado al rey de Egipto, Nectanabis II, por el rey de Lacedemonia, Agesilao, Eudoxio pasó en aquel país unos trece años, dedicándose al estudio. Vuelto a Grecia, lo cubrieron de gloria y, con un núcleo numeroso de discípulos, fundó su escuela.

Sus obras y su celebridad sólo nos son conocidas por referencias de los antiguos.

Parece que estableció un sistema cosmogónico particular de concepción tan curiosa como absurda a pesar de estar basado sobre cálculos matemáticos de bastante exactitud (1). Conocía ya la duración del año de 365 ¼ días que fué establecida por el calendario juliano impuesto por Julio César y que fué conservado hasta el siglo XVI.

En música, debe observarse que Eudoxio había estudiado las relaciones numéricas entre los sonidos.

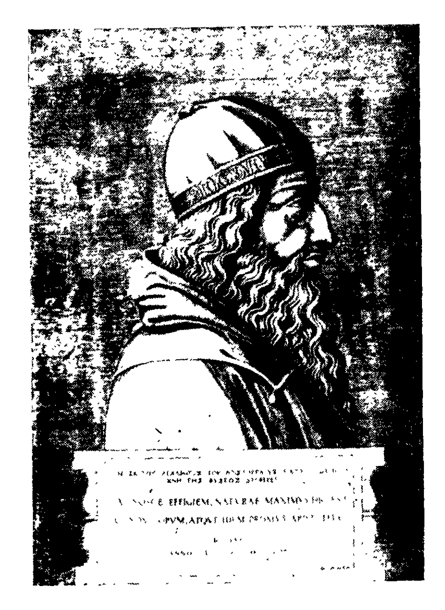
---

(1) Vease Hoefer "Hist. de l'Astron.", pág. 135.

ARISTOTELES
(384-322)

Hasta ahora los filósofos de quienes hemos hablado no podían, por la falta de método debida a sus conceptos mismos, hacer progresar rápidamente la ciencia. Fué ARISTOTELES quien supo reunir los conocimientos dispersos, organizarlos y hacer de ellos la base de nuestra ciencia.

Este gran filósofo nació en Estagira, colonia griega de Tracia, en el año 384 antes de nuestra era y murió en Cálcide en 322.



ARISTOTELES

Cuando perdió su padre, médico de mucho valor, tenía diez y siete años, y su tutor, hombre honesto e inteligente, no se opuso a sus deseos de dedicarse al estudio.

Aristóteles fuese entonces a Atenas donde se hizo discípulo de PLATON, bajo cuyas enseñanzas permaneció casi veinte años. Platón reconoció en ese adolescente débil, tímido y de voz balbuciente a un espíritu superior, y, admi-

rado por su amor al estudio, exclamó un día: "Para algunos se necesitan espuelas pero, para Aristóteles se precisa un freno". El único reproche que el maestro hacía a su distinguido alumno era el exceso de refinamiento de su vestir y sus modos afeminados.

Después de la muerte de PLATON, acaecida en el año 347, Aristóteles emprendió un viaje a Asia Menor. Pasó tres años en la corte de Hermias, tirano de Atarmé, en Misia, y, cuando éste fué asesinado por orden del rey de Persia, el filósofo se casó con su hija Fitias, llegando a salvarse a tiempo con ella de las persecuciones de los espías persas. Huyó a Mitilena, capital de la isla de Lesbos, donde pasó los dos años más tranquilos y más felices de su vida.

En el curso de su viaje conoció a Filipo de Macedonia, quien, poco después, lo encargó de la educación de su hijo Alejandro, ofreciéndole en pago, entre otros valiosos premios, el que más debía satisfacerlo en su patriotismo: la reconstrucción de la ciudad nativa del filósofo, que había sido asolada por el rey de Macedonia mismo, la restitución de las propiedades, la libertad de los esclavos y la amnistía para los fugitivos.

Aristóteles pasó más de doce años enseñando al joven Alejandro, la Moral, la Literatura, la Política, las Ciencias Naturales, la Física y la Medicina. Daba sus clases en un bosque inmediato a Mieza y supo despertar con ellas, en el espíritu de su real alumno, amor y admiración hasta el punto que el príncipe solía decir: "No amo menos a Aristóteles que a mi padre, pues si del uno he recibido el vivir, del otro he recibido el vivir bien." Este afecto se fué sin embargo enfriando y una prueba de ello es que, cuando Alejandro emprendió su guerra contra los persas, Aristóteles, que ya tenía más de cincuenta años, volvió a Atenas y dejó a su sobrino CALISTENES ocupar su puesto cerca del monarca.

Fundó entonces en Atenas su célebre escuela que estableció en el Liceo, pues la Academia de PLATON estaba ocupada por su amigo y compañero de viaje en Asia Menor, JENOCRATES. En los jardines del Liceo, el filósofo daba sus enseñanzas bajo forma de amenas discusiones y pa-

seándose rodeado por sus alumnos, quienes recibieron de allí el nombre de "peripatéticos" o "caminadores". Es así que durante trece años, el genio más amplio de la antigüedad comunicó su saber y sus ideas a sus numerosos adeptos, por la palabra, mientras las propagaba a todo el mundo civilizado por sus escritos de profunda sabiduría.

Aristóteles fué acusado de ingratitud hacia su maestro PLATON. Su amistad y su respeto para ese filósofo son sin embargo, indudables y si atacó a veces con dureza y aún equivocadamente las teorías y el método de enseñanza de aquel a quien tanto debía, ¿fué ésto ingratitud o amor a la verdad? Aristóteles mismo contesta a la pregunta con esta frase: "Soy amigo de Platón, pero amo más aún a la verdad".

Alejandro no se olvidaba de su preceptor y, desde las lejanas tierras a las que sus expediciones lo llevaban, le enviaba todas las curiosidades que encontraba y también lo ayudaba materialmente. Pero Calístenes empezaba a molestar al rey triunfante y adulado, por sus continuas críticas a su vida licenciosa, por su poco amor a los Macedonios, por sus severas doctrinas de sofista y su odio nunca disfrazado a los cortesanos que se granjeaban los favores del joven monarca a fuerza de bajezas. Por otra parte, la envidia que la merecida fama de Calístenes despertaba, provocó numerosas calumnias que indispusieron completamente a Alejandro. En este estado de espíritu, el monarca dió crédito a una acusación según la cual el filósofo habría tomado parte en una conspiración y lo condenó a muerte. Esto provocó naturalmente una ruptura completa entre Aristóteles y su alumno, que ahora exclamaba, olvidadizo de todo lo que debía al maestro: "Castigaré al sofista, a los que aquí lo enviaron y a los que dan acogida a los traidores contra mi".

Cuando, después de la muerte de Alejandro, el Atica regocijada se entregaba a un movimiento libertador, a pesar de la ruptura entre Alejandro y Aristóteles, éste pareció sospechoso por haber nacido en Macedonia y sobre todo por haber sido amigo del opresor de Grecia. A estas sospechas de los patriotas se agregaron los odios de los faná-

ticos que veían en su filosofía un ataque a las creencias tradicionales.

Aristóteles abandonó entonces Atenas, seguido por muchos discípulos a quienes dijo, recordando la injusta muerte de SOCRATES: "Quiero salvar a los Atenienses de un segundo crimen contra la Filosofía". Fuése a Calcis, en la isla de Elbos, y allí murió poco después, dejando a TEOFRASTO la dirección de su escuela.

Entre las numerosas obras que atribuimos a Aristóteles y que no son sino la mitad de las que desaparecieron, sería difícil separar exactamente lo que le es personal de los comentarios y amplificaciones agregadas por sus sucesores.

Aportó al estudio, por su espíritu metódico, tres grandes innovaciones: las bibliotecas, los diccionarios y las ilustraciones. Con la ayuda de Alejandro, pudo reunir un gran número de objetos curiosos y de libros antiguos que constituyeron la primera biblioteca que se conociera en la antigüedad y que fué bien pronto imitada en muchas ciudades de Grecia, de Egipto y de Asia Menor. Pensó un día en clasificar sus apuntes sobre temas variados y, para su facilidad, las colocó por orden alfabético, inventado así el diccionario, hasta entonces desconocido. Imaginó en fin acompañar sus explicaciones con dibujos y esquemas, en sus tratados de física e historia natural, pero, desgraciadamente, estas ilustraciones no pudieron ser encontradas y muchas de las explicaciones de este extraordinario erudito han quedado por esta causa en la más profunda obscuridad.

Aristóteles dividía sus enseñanzas, tanto orales como escritas, en dos categorías: 1º, las obras exotéricas o condensaciones del pensamiento del autor, sin preocupación de la forma, y difíciles de entender sin sus comentarios, y 2º, las obras exotéricas de menos profundidad, de forma más cuidada, y especies de obras de vulgarización dirigidas al común de los lectores.

Comprendía en la filosofía todas las ciencias menos la historia y dividía a éstas en ciencias especulativas y ciencias prácticas, o sino en: lógica, física y moral.

Entre las ciencias especulativas la que ocupa el primer lugar es la metafísica o filosofía primera, llamándose filosofía segunda a la física o estudio de la naturaleza.

Las obras que nos quedan de él sobre física están formadas por más de cincuenta volúmenes entre los cuales citaremos: Lecciones de Física, Tratado del Cielo, Meteorología, Tratado del Mundo, Historia de los Animales, Acústica, Tratado de los Colores, Mecánica, Historia de las Plantas.

Si la filosofía de Aristóteles, que no nos cabe estudiar aquí, es indiscutiblemente grandiosa y puede ser considerada aún como uno de los sistemas más profundos emanados del espíritu humano, su obra científica propiamente dicha, que nos interesa principalmente, no merece tanta considección. Su estilo seco y riguroso contrasta mucho con el de Platón, agradable y poético, y esto fué el origen de muchas críticas del discípulo hacia el maestro. Su valor científico intrínseco no es tan considerable como aparenta, pues su obra consiste principalmente en haber reunido todos los conocimientos de su época demostrando una erudición extraordinaria, si bien algo superficial y, a veces, incoherente.

Se observa en toda la obra científica de Aristóteles un gran respeto a la experiencia, cosa que ya se nota en las obras de PLATON, pero al mismo tiempo se encuentran en ella principios tan dogmáticos, tan erróneos y tan contrarios al método experimental, que hacen creer que Aristóteles, aunque la ponderaba, no percibía claramente el valor de la experiencia en los trabajos científicos.

En Física, consideraba tres principios de los cuerpos: la materia, la forma y la privación o sea la exclusión de todas las formas posibles con excepción de las que tiene momentáneamente. Consideraba como cualidades primordiales: lo seco, lo húmedo, lo frío y lo caliente.

Merecen consideración varias ideas de ese filósofo sobre la caída de los cuerpos (1), las palancas, las balanzas, los fenómenos de solución y de fusión, la conductibilidad

(1) Véase la biografía de GALILEO.

del calor, la propagación de la luz y los métodos de medida de la circunferencia de la Tierra.

Su tratado de Mecánica es el único en la Antigüedad que contiene los principios de esa ciencia expuestos con criterio teórico o sea sin interés en las aplicaciones.

En esta Mecánica, estudió el movimiento, que consideraba, en forma confusa, como "la transferencia de la existencia potencial en existencia actual". Cada cuerpo tiene, según él, un lugar determinado en la naturaleza y, desarrollando esta idea de los Eleáticos (Jenofonte, Parménides), llegó a la conclusión de que todo cuerpo que se dirige hacia su posición natural lo hace sin necesidad de fuerza motriz, mientras que ésta es necesaria cuando se trata de otros movimientos o sean movimientos provocados artificialmente. El primer movimiento, el natural, es uniformemente acelerado, mientras que el segundo, el artificial, es uniformemente retardado.

Aunque no esté expresado en forma terminante, puede deducirse de sus afirmaciones poco precisas que consideraba la fuerza igual al producto de la resistencia por la velocidad. No podía admitir entonces la supresión de esa resistencia, ya que daría un valor infinito a la velocidad, y debía pues rechazar la posibilidad del vacío. Este concepto de fuerza imponía además la admisión de que, a resistencia igual (forma y volumen iguales), dos cuerpos cadentes tienen velocidades proporcionales a sus pesos, falsa afirmación que parecía comprobada por los hechos para quien no sometiera la ciencia a una severa comprobación experimental.

Admitia, como PLATON y PITAGORAS, que era necesario el contacto entre los cuerpos para que puedan ejercer acción uno sobre otro. En su estudio de la palanca se encuentra — en forma más o menos confusa o contradictoria — el teorema de la composición de las fuerzas rectangulares, la admisión como evidente del equilibrio de la palanca de brazos iguales, una exposición vaga de la ley general de equilibrio de esta máquina y el esbozo de la ley de la inercia, del principio de las velocidades virtuales y del paralelogramo de los movimientos.

En su mecánica se halla también la teoría de Aristóteles sobre la trayectoria de los proyectiles (1º - un movimiento ascendente artificial, 2º - un movimiento horizontal mixto, y 3º - un movimiento descendente natural). Esta teoría fué admitida hasta el siglo XVI o sea hasta su rechazo por TARTAGLIA y GALILEO.

Pero el mérito más grande quizás de la influencia científica de Aristóteles consiste en haber separado las ciencias distintas, en haberlas aislado una por una, fuera del saber confuso y general del filósofo, dando así al estudio la base sobre la cual descansa todavía.

Esto ha llevado muchos historiadores a considerar a Aristóteles como el verdadero fundador de la Física. No merece, sin embargo, ese título, quien no ha dado a esta ciencia ningún principio inicial sobre qué establecerla y quien se ha limitado a agregar ideas personales, pero no fundamentales, a los conocimientos que ha recopilado sabiamente. Tiene el mérito de haber demostrado la necesidad de aislar la Física de las otras ciencias, pero considerarlo por esto como su fundador, sería exagerado y rebajaría además la gloria de ARQUIMEDES, cuya influencia en Física ha sido indiscutiblemente superior y que merece el título de fundador de esta ciencia por haberle dado principios indispensables a su desarrollo.

Por otra parte, Aristóteles cometía el error de suponer que las leyes naturales son necesarias y fácilmente deducibles de axiomas que él elige demasiado arbitrariamente y que lo alejaban frecuentemente de la verdad, como lo veremos al señalar algunas más de sus afirmaciones.

Aristóteles creía que el cuerpo en movimiento pierde constantemente este movimiento como podría perder su calor y que, para evitar que se detenga, es necesario reponer el movimiento perdido. Creía que los cuerpos cadentes en el vacío tienen una velocidad uniforme, pues consideraba el aire como causa del aumento de velocidad. Afirmaba también que esta velocidad es proporcional al peso del cuerpo y al espacio recorrido. Los trabajos de GALILEO son el más elocuente desmentido de estos errores.

Aristóteles estaba convencido de que el aire tiene peso y, para probarlo, pesó primero un pellejo vacío y luego lleno de aire. ¡Cuál no fué su admiración cuando notó que los pesos eran iguales! Repitió la experiencia muchas veces con el mismo resultado u obteniendo para el pellejo lleno un aumento de peso apenas perceptible. El principio descubierto más tarde por ARQUIMEDES nos explica fácilmente la causa de esta observación pues el pellejo lleno de aire pierde en peso el peso del aire que desaloja, igual al que contiene o un poco menor cuando aquel está algo comprimido.

Quiso entonces el filósofo demostrar la pesantez del aire por otro experimento: introdujo un pellejo vacío y otro lleno de aire en el agua pensando, naturalmente que el segundo, más pesado, se hundiría primero. Fué lo contrario que pasó! El principio de ARQUIMEDES nos explica de nuevo lo que Aristóteles no pudo entender nunca. El pellejo vació, de reducido volúmen, pierde en peso el peso relativamente pequeño del agua que desaloja, mientras que el pellejo inflado, de volúmen mucho mayor, pierde el peso del gran volúmen de agua que desaloja.

Para explicar que los cuerpos más densos que el aire descienden y los menos densos se elevan, Aristóteles se limitaba a decir que hay cuerpos positivamente graves cuyo "lugar natural" es bajo y otros negativamente graves cuyo lugar es alto. Es que Aristóteles no tenía concepto de la densidad, concepto introducido recién por ARQUIMEDES.

En óptica, fué el primero de los antiguos que diera una teoría razonable de la visión, pero al lado de este importante progreso cometía graves errores en la explicación del arco iris, de las coronas y de los halos del Sol y de la Luna. Explicaba también que la luz es una consecuencia de la propiedad de transparencia de ciertos cuerpos como el vidrio, el agua, el aire, que hacen ver los objetos que están detrás de ellos durante el día y los oculta durante la noche. Explicaba por otra parte, con mucha justeza, que la luz, como el sonido, necesitan un medio para propagarse, pero creía que la propagación de la luz es instantánea.

Afirmó que el calor es un elemento oculto, formado por partículas animadas de un perpetuo movimiento, que separa las cosas heterogéneas y une las homogéneas, pero, otras veces, asegura que el calor no es movimiento sino "la excitación del éter por el Sol y las estrellas".

En Acústica, sabía ya que el aire es el propagador del sonido, a pesar de que esta aseveración no fué comprobada sino después de unos dos mil años, por el físico alemán GUERICKE (1602-1686).

En Astronomía, Aristóteles no admitía la hipótesis según la cual la Tierra está dotada de un movimiento giratorio y, menos aún, que gira alrededor del Sol. Aportó pruebas experimentales convincentes de la esfericidad de la Tierra que ya era conocida, mucho antes, por PITAGORAS, ANAXAGORAS, FILOLAO y sus discípulos, y era admitida por todos los intelectuales de aquel tiempo.

No admitía como DEMOCRITO, el monismo de la materia y de la energía sino que, como los Jónicos, defendía su dualismo absoluto. Se oponía al atomismo y negaba con energía la afirmación de Platón acerca de pequeños vacíos entre átomos. Creía que la materia está constituída por cinco elementos iniciales, uno más que EMPEDOCLES; dos graves: la tierra y el agua, dos ligeros: el aire y el fuego, y uno, ni grave, ni ligero, pero eterno e inmutable, inmaterial, sin movimiento ascendiente ni descendiente pero sólo rotativo: el éter, la "quinta essentia", concepto que fué perjudicial al desarrollo de la Física.

Llevando más lejos su razonamiento, elevándose a las altas e ilusas esferas de las especulaciones, llegaba a establecer que el agua es el ojo de la materia y más particularmente la pupila; el aire, su oído; una mezcla de aire y agua, su olfato; la tierra, su sensación; el fuego, un elemento que comunica ardor y animación a los demás.

Habló también en sus obras, de magnetismo y de electricidad y demostró conocer la magnetización temporaria del hierro dulce.

He aquí, pues, algunas de las muchas afirmaciones relacionadas con la Física, que se encuentran en la vastísima obra de Aristóteles. Durante casi tres siglos después de su

muerte, los naturalistas no dieron mayor importancia a esta obra, pues preferían dejarse guiar por los escritos del maestro PLATON. Más tarde, la obra de Aristóteles se impuso en forma tal, que sus aciertos mejores y sus errores más groseros fueron admitidos por igual como dogma indiscutible, como cimiento inconmovible de la ciencia. Y esta influencia no disminuyó hasta que genios como STEVIN, KEPLERO, GALILEO, llegaron a quebrantarla y librar de ella a la ciencia, inaugurando así el período moderno del desarrollo científico.

TEOFRASTO
(371-286)

TEOFRASTO, amigo, discípulo y sucesor de ARISTOTELES, nació en Eresos (Isla de Lesbos) 371 años antes de J. C. y murió en Atenas en 286.

Era hijo de un pobre obrero, pero empezó, sin embargo, sus estudios en su ciudad natal con un cierto Leucipo que no debe ser confundido con el célebre filósofo del mismo nombre. Luego fuése a Atenas donde encontró la escuela de PLATON y tuvo por condiscípulo y más tarde por maestro a ARISTOTELES.

Cuando éste se fué a Calcis, dejó la dirección de su escuela a Teofrasto, que le sucedió también después de su muerte.

Orador magnífico, hombre servicial, tímido y virtuoso, de una erudición sólo comparable a la de su maestro, y más metódico que él todavía, Teofrasto supo elevar a más de dos mil el número de los alumnos de la escuela peripatética.

Atenas, sin embargo, ya no ofrecía a los filósofos, la misma protección que en sus tiempos de gran florecimiento. La decadencia de su civilización se anunciaba por su desinterés hacia las artes, las letras y las ciencias, enemigas todas de sus gobiernos despóticos.

Teofrasto, como sus grandes antecesores ARISTOTELES, SOCRATES y ANAXAGORAS, fué acusado de impiedad ante el Areópago, pero supo defenderse con tanta elocuencia que no sólo fué absuelto sino que su acusador hubiera sido acusado a su vez y condenado por ese alto tribunal si Teofrasto mismo no se hubiera encargado de su defensa.

Este gesto de justicia del Areópago y el noble gesto del filósofo no apaciguaron los odios de los fanáticos hacia los hombres de saber, y el arconte en el poder decidió vengarse de la victoria de Teofrasto, desterrando a todos los filósofos y clausurando todas las escuelas. Pero Atenas no había olvidado por completo sus tiempos de grandeza y este acto estúpido provocó una reacción enérgica, de modo que cuando el arconte hubo terminado su corto mandato, los filósofos volvieron a enseñar y fué con mayor entusiasmo que acudieron a escucharlos los discípulos de todas partes del país.

La obra de Teofrasto no es absolutamente original y muchas de sus ideas no son más que inteligentes deducciones de las de ARISTOTELES, aunque también hayan sido atribuídas al maestro algunas obras del discípulo.

Siguiendo el mismo plano que su maestro, escribió una "Historia de las Plantas" similar a la "Historia de los Animales", y entre sus numerosas obras conservadas hasta nuestros días, se encuentran trabajos de ciencias naturales, astronomía, filosofía y matemáticas.

En una de ellas, Teofrasto dice haber descubierto la propiedad de producción de electricidad de que goza el ámbar, en un mineral llamado "linkurion" o "piedra de lince", pero acerca del cual no da suficientes detalles para poder reconocerlo, aunque algunos autores creen poder asegurar que se trataba de la turmalina.

A Teofrasto sucedió ESTRATON, como jefe de la escuela peripatética; pero este físico, materialista como los jónicos, trató de unir los conceptos antagónicos de ARISTOTELES y de DEMOCRITO.

Fué este el final de la escuela peripatética.

---

5 — Schurmann.—Historia de la Física.

EPICURO
(341-270)

EPICURO nació en Gargeta, cerca de Atenas, 341 años antes de J. C. y murió en la capital ática en 270.

Hijo de un modesto maestro, se educó en Samos y en Atenas, donde fué discípulo de JENOCRATES.

Abrió en Lámpsaco (Asia Menor) la escuela filosófica que lleva su nombre, pero la trasladó a Atenas después de algunos años.

En Física, Epicuro amplió las teorías de DEMOCRITO y dió el nombre de "átomo" a las partes constituyentes de la materia, imaginadas por el célebre filósofo de Abdera. Volvió pues a la teoría "materialista" y declaró el principio de la reacción contra el idealismo de PLATON y ARISTOTELES.

Escribió obras extensas sobre Física, entre las cuales las más importantes son "De la Naturaleza" y "Epítome Grande", cuyos puntos principales se hallan resumidos en una carta que el filósofo dirigió a HERODOTO y de la cual transcribimos los siguientes pasajes:

> "Nada se hace de nada o de lo que no existe, pues " de lo contrario, todo nacería de todo sin necesitar se- " millas. Si lo que se corrompe no pasara a ser otra co- " sa, sino la no existencia, todo se hubiera ya acaba- " do. Pero el Universo fué siempre tal cual es hoy, " tal será siempre y nada hay en que pueda convertir- " se; pues fuera del mismo Universo, nada hay a que " pueda éste pasar y por lo que pueda cambiarse..."
>
> "Hay vacío, pues si no lo hubiese, el espacio y la " extensión, no tendrían los cuerpos en donde estar, ni " en donde moverse, como es claro se mueven."
>
> "De los cuerpos, unos son concreciones y otros son " cuerpos simples con que las concreciones se forman. " Son éstos indivisibles e inmutables, puesto que no " pueden pasar todos a la no existencia; antes bien, " perseveran firmes cuando se disuelven con los com- " puestos. Así los principios de las cosas, precisamente,

" son las naturalezas de estos cuerpos "átomos" e "in-
" divisibles".

"El universo es infinito, ya por la magnitud del
" vacío, ya por la gran cantidad de estos cuerpos (áto-
" mos)."

"Los átomos se mueven continuamente. Deben tam-
" bién tener igual velocidad cuando son llevados por el
" vacío sin chocar con nada, pues suponiendo que nada
" encuentran que les obste, ni los graves corren más li-
" gero que los leves, ni los menores más que los ma-
" yores; teniendo todos su conducto conmensurado o
" proporcionado y no hallando tampoco quien les im-
" pida ni el movimiento superior ni el oblícuo por los
" choques, ni el inferior por los pesos propios."

"Los átomos no tienen principio ya que ellos y el
" vacío son causa de todo. No tienen ninguna cualidad
" excepto la figura, la magnitud y la gravedad."

Las ideas principales que se destacan de esta exposición son la conservación de la materia, la existencia del vacío, la formación de la materia por átomos eternos, infinitos, animados de movimiento, lo infinito en extensión o en número del Universo, y tal vez la identidad de velocidad de caída en el vacío para todos los cuerpos.

Todas estas ideas, que ya habían sido emitidas con superioridad de criterio, pero con menos difusión por DEMOCRITO DE ABDERA, se encuentran exactamente repetidas en el poema "De la Naturaleza de las Cosas" de LUCRECIO.

EUCLIDES
(315-255)

EUCLIDES DE ALEJANDRIA, uno de los más grandes geómetras de la antigüedad, nació en el año 315 y murió 255 años antes de nuestra era.

Poco se sabe respecto a su vida y el trabajo de los biógrafos ha sido dificultado por el gran número de personajes de la antigüedad griega que llevan el mismo nombre; entre ellos se conocen un arconte ateniense, un médico, un escultor, un general espartano, y, sobre todo, al filósofo EUCLIDES DE MEGARA, discípulo de SOCRATES y amigo de PLATON, que ha sido confundido por muchos con el célebre matemático.



EUCLIDES
(Grabado del Siglo XVI)

Según datos encontrados en algunas obras árabes y citas de contemporáneos de Euclides, se puede creer que nació en Tiro y que pasó largos años en Damasco, en Grecia, y sobre todo en Atenas hasta que el rey de Egipto, Ptolomeo I, que reinó de 323 hasta 283 y fué apellidado Ptolomeo Soter (el Salvador), lo llamó a Alejandría donde se fundaba, bajo los auspicios de ese protector de las ciencias, las letras y las artes, la famosa escuela o Museo de Alejandría.

Euclides realizó, en Egipto, la parte más importante de su obra: es allí que escribió sus célebres "Elementos de Aritmética y de Geometría"; allí también dió sus lecciones en

que formó grandes matemáticos como ARQUIMEDES y ELIODORO DE LARISA, e hizo profundos estudios de música, óptica, mecánica y astronomía.

En sus "Elementos" reunió todo lo que los antiguos habían establecido, le agregó sus descubrimientos personales y dió a este conjunto un orden, una claridad, un método, tan perfectos que hasta nuestros días muy poco se ha modificado.

Según una anécdota trasmitida por los autores antiguos, Ptolomeo quiso leer los "Elementos de Geometría" de Euclides, sin preparación matemática alguna, leerlos, en fin, como si fueran una novela o un libro de historia, pero cuando comenzó la lectura, los hermosos razonamientos matemáticos le parecieron ininteligibles. Llamó entonces al autor de la obra y le preguntó si no existía algún medio más sencillo y más rápido para llegar a entender las matemáticas. Euclides, de carácter bondadoso, modesto y servicial, pero ante todo franco y enemigo de la adulonería, contestó sencillamente: "No, Príncipe; en matemáticas no hay caminos especiales para los reyes".

Para juzgar de la obra de Euclides no debemos limitarnos al estudio de ese tratado elemental de geometría que fué escrito con el único fin de dar a los estudiantes de la Escuela de Alejandría una iniciación en las matemáticas, sino que deben leerse sus obras de matemáticas superiores como los "Data", sus tres libros de "Porismatibus" y lo que queda de su "Tratado de las Secciones Cónicas".

Esta última obra nos obliga a citar aquí el nombre de APOLONIO PERGEO quien, después de la muerte de sus dos grandes predecesores EUCLIDES y ARQUIMEDES, continuó su obra conquistándose el apodo de "el gran geómetra". Apolonio nació en Perga (Pamfilia) y vivió en Alejandría bajo el reinado Ptolomeo Filopator, hijo de Ptolomeo Ervegetes, reinado que se extendió de los años 222 a 205 antes de J. C. Escribió una obra sobre las "Secciones Cónicas" que es considerada como una de las más grandes de la antigüedad.

El "Tratado de Optica" de Euclides se divide en dos partes: Optica y Catóptrica o Specularia y Perspectiva. En la primera, Euclides habla de la refracción, la diferencia ab-

solutamente de la reflexión y le atribuye el aumento aparente de los astros cerca del horizonte.

En esta misma obra comete el error de refutar la teoría de la visión, casi exacta, de ARISTOTELES, para volver a la de PITAGORAS, que admite la emanación de rayos visuales del ojo.

Establece así que los rayos visuales caminan infinitamente y en línea recta formando un cono, y que sólo son visibles los objetos alcanzados por esos rayos, siendo su tamaño en relación con el "ángulo visual". En cuanto a la ley de la reflexión, se refiere a ella como un conocimiento ya perfectamente establecido y trata de explicar el arco iris como una consecuencia de dicha ley.

En un estudio sobre la caída de los cuerpos, establece que la velocidad de caída es tanto mayor cuanto más raro es el medio en que se efectúa.

Como obra física de Euclides, cabe citar, en fin, sus tratados "Sobre la Música" y "Sobre la División de la Escala Armónica", inspirados en los trabajos de PITAGORAS.

ARISTARCO DE SAMOS
(310-264)

ARISTARCO nació en Samos en el año 310 y murió hacia 264.

Fué probablemente el único de los antiguos que considerara al Sol como centro fijo, alrededor del cual gira la Tierra. Se ha atribuído a muchos otros y entre ellos a PITAGORAS y a PLATON el honor de haber también defendido esa tesis, pero no se han podido probar claramente tales afirmaciones.

Según PLUTARCO, el filósofo estoico CLEANTO (1), sucesor de ZENON, trató de hacer condenar a

(1) CLEANTO, filósofo estoico que nació en Assos (Asia Menor) 300 años antes de J. C. y murió en Atenas en el año 232.

Aristarco acusándolo de herejía por no creer que la Tierra es centro del Universo, pero, felizmente, sus malos propósitos no fueron realizados.

ARISTOTELES consideraba ridícula y contraria a la religión la teoría heliocéntrica y este juicio prevaleció en la antigüedad y en la edad media, hasta que COPERNICO primero, luego KEPLERO y GALILEO, venciendo la oposición ciega de los defensores de la religión, llegaron a convencer al mundo de la exactitud de las enseñanzas de Aristarco de Samos.

VITRUVIO cita a Aristarco como inventor de un cuadrante solar de modelo perfeccionado.

ERATOSTENES
(276-194)

ERATOSTENES, poeta, orador, filósofo, matemático, astrónomo y geógrafo insigne, nació en Cirene (Norte de Africa) 276 años antes de J. C. y murió en Alejandría en 194.

Ptolomeo III lo llamó de Atenas donde residía, para ofrecerle la dirección de la Biblioteca de Alejandría y es en esa ciudad que Eratóstenes escribió sus obras inmortales de astronomía y geografía.

Fundador de la ciencia geodésica, y uno de los más grandes astrónomos de la antigüedad, mereció de sus contemporáneos el sobrenombre de "segundo Platón".

En su célebre obra "Geográficas", hoy desaparecida, supo hacer de la geografía una ciencia, aplicándole las matemáticas.

En esta misma obra se encuentra lo que más celebridad le ha dado, su medida de la circunferencia de la Tierra.

ARISTOTELES creía que la circunferencia de nuestro globo es de unos 400.000 estadios como lo afirmaban sus contemporáneos. ARISTARCO DE SAMOS la evaluaba en 300.000 estadios y ARQUIMEDES admitía esta última medida como la más exacta.

Eratóstenes obtuvo, según sus cálculos, un valor de 252.000 estadios, resultado casi exacto si se refería a estadios egipcios pues, en ese caso, su medida de la circunferencia equivaldría a 39.879.000 metros, lo que sólo difiere de unos 121.000 metros del valor considerado como exacto en nuestros días. Pero conviene hacer observar que no sabemos a ciencia cierta, si se trataba del estadio egipcio cuyo valor es de 50 toesas ó 300 codos o sea unos 158 metros, o si se refería al estadio olímpico que equivale a 125 pasos ó 95 toesas. 570 codos o unos 300 ½ metros. En este último caso Eratóstenes hubiera cometido un error de 6.644.000 metros.

Este punto ha sido largamente discutido y, si bien es verdad que no se ha podido llegar a un criterio exacto al respecto, parece comprobarse cada vez más que la medida de Eratóstenes ha sido expresada en estadios egipcios y fué pues la más aproximada de todas las que se han realizado hasta el siglo pasado.

ARQUIMEDES
(287-212)

Nació ARQUIMEDES en Siracusa, en el año 287 antes de J. C. y murió en 212.

Pariente cercano del rey de Sicilia, Hierón, no aprovechó esta circunstancia para elevarse a altos puestos, cosa que le hubiera sido fácil conseguir, pero prefirió dedicarse exclusivamente, al estudio de las matemáticas y más especialmente de la geometría, que desde su juventud lo había atraído.

Poco se sabe acerca de su primera educación, pero es de suponer que fué muy completa, pues, muy joven aún, fuése a Alejandría para estudiar con EUCLIDES y CONON DE SAMOS y volvió de Egipto después de haberse conquistado mucha fama por haber desecado pantanos por medio de diques movibles, trabajo considerado hasta entonces, irrealizable.

Sicilia estaba en una difícil situación política entre Roma y Cártago, empeñadas en las largas y crueles guerras pú-

nicas, cuando un acontecimiento provocó la ira de Roma. El poder de la isla había sido usurpado por el general Hipócrates que quizo atraerse los favores de Cartago por cualquier medio, y, para demostrar su odio a los Romanos, hizo degollar a todos los colonos romanos establecidos en Leontino.

La noticia de este acto bárbaro fué recibida con justa indignación en Roma y se tomaron inmediatamente enérgicas medidas: Marco Claudio Marcelo, cónsul romano, con cincuenta pentarremes, atacó por mar a Siracusa mientras que el pretor Apio Claudio preparaba el ataque por tierra.



ARQUIMEDES
(Grabado del Siglo XVI)

Arquímedes puso entonces todo su saber al servicio de su patria y dirigió la defensa de la ciudad durante los tres años que duró el sitio.

Sus contemporáneos le atribuyen el invento de máquinas formidables como gruas provistas de ganchos enormes que levantaban las galeras romanas y luego las dejaban caer y destrozarse en la superficie del mar o espejos ardientes que

concentraban sobre la flota enemiga los rayos solares hasta lograr incendiarla.

Indudablemente, la mayor parte de estas aserciones han sido exageradas por el patriotismo y la admiración que este gran geómetra y gran patriota supo despertar en sus conciudadanos. Mucho contribuyó también a difundir esas fábulas el terror pánico que los soldados romanos tenían a esos inventos, terror que llegaba a tal punto que bastaba que cualquier objeto brillante o extraño apareciera en las murallas de la ciudad sitiada para provocar en toda la flota sitiadora una alarma extraordinaria.

La posibilidad de incendiar buques por medio de espejos ardientes ha sido muy discutida y ha tenido, hasta nuestros días, muchos defensores (1) y detractores (2), pero la duda seguirá siempre subsistiendo aunque se pruebe que todos los inventos atribuidos a Arquímedes sean realizables, pues el gran geómetra no dejó ninguna descripción ni mención de sus inventos a los que, sin duda, no atribuía la misma importancia que a sus trabajos teóricos.

Cualquiera sea la opinión acerca de la posibilidad de incendiar barcos por medio del calor concentrado por espejos, el hecho relatado por los escritores del tiempo demuestra que Arquímedes conocía el calor radiante y su reflexión, y desde nuestro punto de vista, es esto lo más interesante.

Todo el ingenio de Arquímedes, todos sus recursos de defensa no pudieron impedir el éxito de las armas romanas. Marcellus, a los ocho meses de sitio, ya había cambiado este en un bloqueo, tratando de reducir la ciudad por el hambre, pero esta medida no fué eficaz. Aprovechando las orgías, a las que se entregaban en las fiestas de Diana los siracusos, demasiado confiados en la inexpugnabilidad de su ciudad y en los recursos de Arquímedes, ayudado por el partido romano dentro de la ciudad misma y por traiciones, el cónsul

(1) DIODORO SICULO, LUCIANO, DION, ZONARAS, GALENO, EUSTATIO, TZETSES, el Padre KIRSCHER (Geissen 1601-Roma 1680), etc.

(2) KEPLER, NAUDE (1654-1729), DESCARTES, etc. (Véase DUTENS, "Ideas atribuídas a los modernos")

Marcelo se apoderó por sorpresa de Siracusa y la abandonó a sus soldados que la saquearon cruelmente.

Arquímedes, ignorando la entrada de los romanos, estudiaba, tranquilo en su casa, cuando un soldado penetró en ella y le intimó la orden de seguirlo. El sabio le rogó de esperar que terminase la resolución de un problema de geometría que mucho le interesaba, pero el soldado, embriagado de sangre e impacientado por la calma y la dignidad del matemático, lo atravesó de parte a parte con su ancha espada.

Marcelo, que admiraba al glorioso geómetra y cuyas órdenes de respetar su persona no habían sido cumplidas, quiso demostrar su indignación ante el acto odioso e hizo elevar una tumba suntuosa al inmortal filósofo y trató a la familia con la mayor distinción.

Arquímedes fué uno de los más grandes matemáticos de la antigüedad y nada puede dar una idea más exacta de la amplitud de su saber, que esta frase pronunciada casi veinte siglos después de su muerte por LEIBNIZ: "Los que son capaces de entender a Arquímedes admiran menos los más grandes descubrimientos de los más grandes sabios modernos".

Sus trabajos de geometría, entre los cuales los más conocidos son su evaluación de π y su estudio de la cuadratura del círculo, son más notables aún que sus descubrimientos de física, pero éstos le dieron más celebridad por la influencia inmensa que tuvieron sobre el adelanto de esta ciencia.

Dos de sus obras nos interesan especialmente a este respecto y permiten dar a su autor el título de fundador de la física y de la mecánica. Estos importantes trabajos son el "Tratado del equilibrio de los planos o de sus centros de gravedad" y el "Tratado de los cuerpos flotantes". (1)

La primera de esas obras contiene los principios fundamentales de la estática; la determinación matemática del centro de gravedad del paralelogramo, del triángulo y del trapecio y la teoría del equilibrio de las palancas que inspiró al

---

(1) Véase: Obras Completas de Arquímedes. (Biblioteca Facultad de Ingeniería).

ilustre siciliano esta célebre frase: "Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo".

Se cuenta que el rey Hierón, a quien Arquímedes había hecho esta atrevida afirmación, le rogó demostrarla por alguna aplicación práctica y que el sabio, aceptando el ruego del rey, puso en movimiento por medio de palancas y poleas, a una galera cargada, que había sido arrastrada a su lugar y a duras penas, por una multitud de obreros del puerto.

Su trabajo sobre balanzas ha desaparecido, pero sabemos, por citaciones hechas por HERON entre otras, que trató en forma acertada el estudio del centro de gravedad y del brazo de palanca. Arquímedes demostró que el centro de gravedad de dos cuerpos se encuentra en la recta que une sus centros de gravedad respectivos.

Estableció que pesos iguales suspendidos a distancias iguales del centro de rotación se equilibran y que dos cuerpos están en equilibrio cuando sus distancias al centro de rotación son inversamente proporcionales a sus pesos respectivos. Arquímedes demuestra haber conocido y haber utilizado ampliamente el concepto de "momento" que sirvió luego a HERON en su aplicación del "brazo de palanca potencial" y es de observar que ambos conceptos fueron aplicados más tarde por LEONARDO DE VINCI y por GUIDO UBALDI, que no deberían pues ser considerados como sus inventores como lo hacen distintos autores.

Arquímedes tomó como base del estudio de la mecánica teórica, las leyes del equilibrio y fundó así la Estática y la Hidrostática. Obró de ese modo pues consideraba que el movimiento no puede servir de base a la mecánica porque sus leyes no pueden ser expresadas en forma tan simple y tan racional como el equilibrio.

La segunda obra, el "Tratado de los cuerpos flotantes", contiene el famoso principio de Arquímedes y las condiciones de equilibrio de los conoides parabólicos flotantes cuyo estudio perfeccionó STEVIN. [1]

Esta última parte es considerada por LAGRANGE como "uno de los más hermosos monumentos del genio de Arquímedes porque contiene una teoría de la estabilidad de los cuerpos flotantes a la que los modernos han agregado poco."

Hay, acerca del descubrimiento del principio de Arquímedes, una anécdota tan conocida que casi es inútil volverla a narrar: El rey Hierón había entregado a un joyero una cierta cantidad de plata y oro para hacer una corona. Al recibirla de las manos del artista, el rey admiró el trabajo pero quiso sin embargo, tener la seguridad de que éste había empleado todo el oro y la plata que se le había entregado, y de que no hubiera reemplazado una parte del oro por un peso equivalente de plata. Los sabios que el rey consultó, conocían procedimientos químicos que les permitían determinar perfectamente la proporción en que los dos metales habían sido aliados, pero mediante la fundición de la corona y por consiguiente la destrucción de esta obra de arte. Arquímedes entrevió de repente la solución del problema estando una mañana en el baño y, frenético de entusiasmo, salió a la calle, desnudo, gritando: "Eureka! Eureka!" (Yo he encontrado!)

Lo descubierto por Arquímedes era que su cuerpo perdía en el agua una parte de su peso. De allí nació en él toda una serie de explicaciones sobre el equilibrio de los cuerpos en los flúidos y las expuso en teoremas que tienen por consecuencia el famoso principio que todos conocemos.

En efecto, Arquímedes expresa primero como postulado su concepto de todo líquido libre, o sea desprovisto de toda presión y no encerrado, como constituido por partículas en contacto unas con otras en tal forma que, estando en reposo, la menos comprimida tiende a ser desalojada por la más comprimida, y que cada partícula recibe la presión de la que se encuentra encima de ella. De acuerdo con este postulado, prueba que la forma de todo líquido libre debe ser esférica en su superficie siendo el centro de esa esfera el centro de la Tierra. De allí establece una serie de teoremas de los cuales cabe destacar: Teorema 5: Un cuerpo más liviano que un líquido se hunde con una profundidad tal que el peso del cuerpo sea igual al peso del líquido desalojado. Teorema 6: Si se mantiene el cuerpo sumergido en el líquido éste recibirá un empuje hacia arriba igual a la diferencia entre su propio peso y el peso del líquido desalojado. Teorema 7: Un cuerpo más pesado que un líquido se hunde totalmente y, en el lí-

quido, pierde una parte de su peso igual al peso del líquido desalojado.

Es de observar que si Arquímedes necesitó establecer primero los distintos casos de equilibrio de los cuerpos para llegar al principio, en vez de sacar estos como consecuencia de aquél, es que le faltaba saber que una presión ejercida sobre un líquido se trasmite en éste en todos sentidos, como lo estableció PASCAL (1) y anteriormente a éste lo sabía STEVIN.

VITRUVIO, arquitecto romano que nació en 85, y a quien se debe la anécdota que antes referimos, explica cómo Arquímedes aplicó su descubrimiento a la solución del problema propuesto por Hierón:

"Introdujo sucesivamente pesos iguales de plata y
" de oro en un vaso lleno de agua y comparó los volú-
" menes de agua desalojada en los dos casos. Luego sub-
" mergió la corona y midió el agua desalojada por ella y
" por un cálculo sencillo determinó así la cantidad de oro
" y plata que la formaban."

GALILEO hizo observar que este método es poco exacto, pues la aleación puede haber provocado una dilatación o una contracción de uno de los metales y que, además, sería muy difícil determinar en cada operación los volúmenes de agua desalojada. Propone entonces el empleo de la balanza hidrostática y agrega que éste debe haber sido el método seguido por Arquímedes, pues está más de acuerdo con el principio descubierto por él. Esta observación de Galileo se robustece con el hecho de que los joyeros conocen, desde la antigüedad el método de la referencia. Tenga GALILEO o VITRUVIO la razón, es indudable que el genio siciliano ha sido el primer antiguo que tuviera una noción clara de la densidad o peso específico de los cuerpos, que no deben confundirse, como él lo hace notar, con el "espesor o viscosidad de un líquido".

Agreguemos aún que Arquímides inventó, perfeccionó o divulgó el uso de un areómetro, del tornillo que lleva su nom-

(1) Véase "Lectures Scientifiques" por J. Gay, pág. 91-100.

bre, de la transmisión por engranajes, de una suspensión con el mismo fin que la de CARDAN, del aparejo de poleas, etc.

Estos méritos, agregados a los anteriores, lo proclaman decididamente el más ilustre físico de la antigüedad.

A pesar de ello, Sicilia olvidó pronto al hijo que con tanto valor la defendió de la invasión extranjera y que tanta gloria le dió. Cuando Cicerón fué enviado como cuestor de Sicilia, habiendo preguntado donde se encontraba la tumba de Arquímedes, para poder inclinarse ante los restos de este genio inmortal, nadie pudo contestarle. Pero veamos como CICERON recuerda este episodio:

> " Los siracusanos afirmaban que la tumba no exis-
> " tía. Yo la encontré rodeada de espinas... Recorrien-
> " do con la vista las numerosas tumbas que se encuen-
> " tran cerca de la puerta de Agrigento, vi una pequeña
> " columna que se elevaba encima de un matorral y sobre
> " la cual había una esfera y un cilindro. Exclamé ense-
> " guida delante de los principales habitantes de Siracu-
> " sa que estaban conmigo: He aquí, creo, lo que yo bus-
> " caba." Y el célebre orador romano agrega este repro-
> " che: "Es así cómo la más noble y en otro tiempo la
> " más docta de las ciudades de Grecia, ignoraría toda-
> " vía donde está la tumba del más ilustre de sus ciuda-
> " nos, si un habitante de Arquino no se la hubiera en-
> " señado."

Arquímedes dejó en Alejandría continuadores valiosos de su obra como CTESIBIO, FILON y especialmente HERON, y la obra de esos sabios de la antigüedad había de ser recogida quince o diez y seis siglos más tarde por VINCI, STEVIN y GALILEO.

CTESIBIO
(180-¿?)

CTESIBIO nació probablemente unos 180 años antes de J. C. en la ciudad de Alejandría. Sólo lo conocemos por referencias de VITRUVIO.

Hijo de un barbero, el célebre mecánico egipcio ejerció el oficio de su padre durante algunos años, pero los inventos a que lo llevó su ingenioso espíritu lo apartaron bien pronto de esas tareas.

Se le atribuyen muchos inventos entre los cuales los más importantes son: un órgano hidráulico, la bomba aspirante e impelente, que más tarde fué empleada por los romanos como bomba de incendio, un fusil de viento y una clépsidra o reloj de agua.

Lo que más nos interesa en estos inventos es, sin duda, que Ctesibio ya tenía un perfecto conocimiento de la elasticidad del aire que aprovechaba como fuerza en su fusil de aire comprimido.

Según una anécdota, CTESIBIO habría observado la compresibilidad del aire, estando todavía en la barbería de su padre, pués al bajar un espejo cuyo contrapeso resbalaba en un tubo de metal, dióse cuenta que el aire contenido por el tubo ejercía una fuerza considerable.

FILON
(¿170?)

FILON DE BIZANCIO, contemporáneo de CTESIBIO y de HERON, vivió como ellos en Alejandría y, como ellos influido por ARQUIMEDES, se ocupó de mecánica e ingeniería figurando además, en la Historia de las Matemáticas.

Sólo se conocen trozos de sus obras de Mecánica y de Neumática.

Por ellas vemos que, igual que CTESIBIO, se interesaba en la construcción de aparatos y luego trataba de encontrales una explicación.

Como admitía en general los conceptos de ARISTOTELES tanto en sus afirmaciones sobre el "lugar natural" de los cuerpos como en su ignorancia de la presión atmosférica, de la elasticidad y de la dilatación del aire, sus explicaciones raras veces son acertadas.

El mayor mérito de FILON para la Historia de la Física es de podérsele atribuir la iniciación de la historia del termómetro por haber inventado el termoscopio (1). Este aparato consistía en un tubo de vidrio en U invertido de modo que sus extremos penetren casi hasta el fondo, uno, en una esfera cerrada hueca de plomo y el otro, en un recipiente de vidrio conteniendo agua. Si se coloca la esfera de plomo en el sol, el aire se dilata, sale por el tubo y hace burbujas en el agua del otro recipiente. Cuando se enfría la esfera, la tensión del aire interior se vuelve inferior a la presión atmosférica en la superficie del agua y ésta penetra en el globo de plomo. Al volver a calentar la esfera de plomo, el agua que ahora contiene se elevará en el tubo de vidrio. Este aparato fué perfeccionado por HERON y hubo de servir luego de base a todos los tanteos que dieron lugar, muchos siglos más tarde (siglo XVII), al invento del termómetro y en los cuales intervinieron VINCI, PORTA, GALILEO, SANCTORIO, SARPI, BACON, FLUDD, VAN HELMONT DREBBEL, etc.

HERON
(¿155?)

Puede asegurarse que HERON (2) nació en Alejandría hacia el año 155 antes de J. C. a pesar de las opiniones

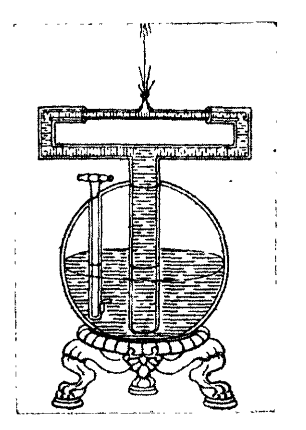
(1) Véase HOPPE "Histoire de la Physique", obra que da singular importancia a este sabio.

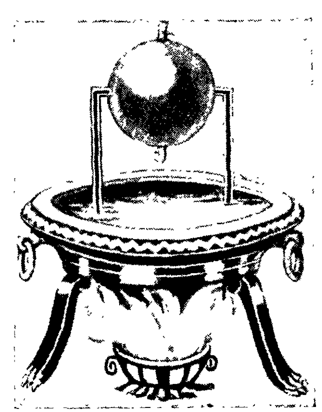
(2) HOPPE, obr. cit. pág. 218.

distintas de algunos autores que afirman que vivió más de cien años antes y de otros que suponen que vivía en el siglo III de nuestra era.

Suele llamársele HERON DE ALEJANDRIA o HERON EL VIEJO para evitar el error, frecuentemente cometido, de confundirlo con un geómetra y astrónomo de Constantinopla del mismo nombre, que se denominó, por idéntico motivo, HERON EL JOVEN.

Los detalles de la vida del célebre matemático y mecánico de Alejandría son casi desconocidos y sólo puede afirmarse que fué discípulo de CTESIBIO (y mucho induce a creer que fuera hijo de éste) y que dirigió en su ciudad nativa una escuela, no de filosofía como las demás escuelas del tiempo, sino un verdadero instituto de ciencias semejante a los "politécnicos" modernos.





LA FUENTE DE HERON - LA EOLIPILA

Herón fué, ante todo, el gran continuador de la obra de ARQUIMEDES y su influencia se extendió hasta los tiempos modernos conjuntamente con la de ARISTOTELES y la de ARQUIMEDES. Sin llegar a dar a la experimentación sistematizada el valor que merece, fué, también con ARQUIMEDES, el sabio de la Antigüedad que realizara el mayor número de experiencias; y otro mérito de su método de trabajo fué de haber sido el primer antiguo que siem-

pre citara las obras de donde sacara sus conocimientos o referencias, siendo, pues, de gran utilidad para el historiador de ciencias los informes que de tal modo nos ha dejado.

Los tratados elementales se limitan generalmente a atribuir el mérito científico de Herón a dos de sus inventos: la fuente que lleva su nombre y la eolípila.

El primero de esos inventos es un aparato poco útil pero muy ingenioso que se encuentra en todos los gabinetes de física y que demuestra que Herón conocía y utilizaba la compresión y la elasticidad del aire.

El segundo, la eolípila (1), es un molinillo formado por una esfera hueca que debe su movimiento giratorio a la reacción de la atmósfera sobre dos chorros de vapor que salen de su centro en direcciones opuestas. Este pequeño aparato es el primero en el cual se haya aprovechado la fuerza del vapor para producir un movimiento y un trabajo; su inventor merece, pues, el título de primer precursor de la máquina de vapor, como lo volveremos a expresar cuando estudiemos ese importante invento. Herón no sólo empleó el vapor en su eolípila sino también utilizó el aire caliente y explicó además con toda exactitud el por qué de la aspiración de las ventosas, todo lo cual nos demuestra que tenía perfecto conocimiento de la dilatación del aire por el calor. No es de extrañar, pues, que Herón, como ANAXAGORAS, creyera en la materialidad del aire en lugar de considerarlo como un "espíritu" como lo hacían sus contemporáneos.

Como continuador de ARQUIMEDES admitía que ese aire material ejerce una presión sobre sus partes inferiores.

Observó también que un chorro de agua tiene la propiedad de arrastrar el aire por donde pasa y es de notar que esa propiedad recién tuvo utilización en el siglo XIX, cuando SPRENGEL inventara su conocida bomba en 1865.

En mecánica, Herón dejó una importante obra que trata especialmente de construcción, pero en la cual estudia y amplía los conceptos de ARQUIMEDES. Entre los muchos

(1) Véase en el estudio de "WORCESTER" la intervención de Herón en la historia de la máquina de vapor.

problemas que estudia y resuelve, recordemos entre los principales: la composición de fuerzas, de velocidades y de movimientos, el centro de gravedad, el plano inclinado. Enuncia el principio de las velocidades virtuales en los siguientes términos: "Las fuerzas y los tiempos están en relación inversa... Lo que se gana en fuerza se pierde bajo forma de tiempo..."

Herón empleó el concepto de brazo de palanca "potencial" o sea la perpendicular bajada del punto de apoyo a la dirección de la fuerza, cualquiera sea la forma de la palanca, y empleó en su estudio del equilibrio de la palanca el producto de la fuerza por esa magnitud, aplicando, pues, en forma precisa, el concepto del "momento estático" ya creado por ARQUIMEDES.

Los aparatos y los métodos de medida de Herón eran de tanta perfección que no pudieron ser mejorados ni por los romanos ni por los árabes, que reconocieron en él al gran maestro de la "métrica".

En el calor, como acabamos de verlo al tratar de FILON DE BIZANCIO, perfeccionó el termoscopio imaginado por éste, dándole un dispositivo más práctico o por lo menos más ingenioso.

En óptica, fué grande también su influencia y, como ya lo dijimos en la Introducción de este capítulo, se conocen sus obras de dióptrica y de catóptrica. En ellas encontramos las primeras referencias precisas sobre el fenómeno de refracción. Afirma que la luz sigue el camino recto por ser el más corto y que su propagación no es instantánea como generalmente se creía, sino que su velocidad es inconmensurable y que es mayor que la de cualquier proyectil porque tiene sobre los cuerpos la ventaja de tener una trayectoria rectilínea. Estudia la reflexión y establece que: "Un rayo de luz que pasa por dos puntos habiéndose reflejado entre ellos, lo hace de tal modo que el trayecto sea el más corto posible" y, para ello, el ángulo de incidencia debe ser igual al ángulo de reflexión. Esas afirmaciones sobre la tendencia natural de la luz en buscar el camino más corto no son suficientes para considerar a Herón — como lo hacen algunos autores — como el precursor de MAUPERTUIS en

el establecimiento del "principio del menor esfuerzo". En su estudio de la reflexión, Herón la explica diciendo que "la luz se refleja en los cuerpos pulidos porque al pulirlos se han tapado sus poros" y por lo tanto la luz no los puede penetrar. Determinó la reflexión y la formación de las imágenes en los espejos cóncavos y convexos y se detuvo en la construcción de espejos cilíndricos.

Es completamente injusto, pues, limitar la vasta obra científica de Herón, obra de tan prolongada y valiosa influencia, al simple invento de la eolípila y de la fuente que lleva su nombre.

HIPARCO
(160-124)

HIPARCO, el fundador de la astronomía como ciencia matemática, nació, según algunos autores, en Nicea (Bitinia) 160 años antes de nuestra era y murió en 124, y, según otros, vivió durante los reinados de Ptolomeo Ervegetes, Ptolomeo Filopáter, Epífanes y Filométer, o sea a fines del siglo III antes de la era cristiana.

Hizo probablemente sus primeros estudios en Nicea, visitó Babilonia, luego se fué a Atenas, donde estudió con los filósofos que frecuentaban aún el Liceo y se estableció definitivamente en Rodas, donde escribió numerosas obras de astronomía y algunas de matemáticas, de trigonometría especialmente.

De sus grandes descubrimientos astronómicos, sólo citaremos el del fenómeno de la precesión de los equinoccios, su rectificación de las medidas de ERATOSTENES sobre la oblicuidad de la eclíptica, su medida exacta de la duración del año y de la desigualdad de los días y su descubrimiento de las paralajes...

En fin, Hiparco fué el primero de los antiguos que volvió a considerar todos los conocimientos astronómicos ya adquiridos para someterlos a una severa crítica, rechazando,

como lo hiciera DESCARTES tantos siglos después, todo lo que el cálculo y la lógica no demostrara ser exacto.

Cabe, sin embargo, observar que ese gran astrónomo, que quiso establecer y completar una ciencia que no estaba sino en sus primeros pasos, ha cometido graves errores y, entre ellos, la defensa de la teoría de la inmovilidad de la Tierra.

POSIDONIO
(143-49)

POSIDONIO RODIO, filósofo estoico, político, literato, geómetra, astrónomo y físico, nació en Apamea (Siria) 133 años antes de J. C. y murió en Roma en 49.

Estudió en Atenas y estableció su escuela en Rodas, donde sus trabajos astronómicos lo hicieron pronto célebre. Entre los discípulos de su escuela se cuentan Pompeyo y Cicerón.

Posidonio hizo una primera medida del grado de meridiano que le daba el valor de 240.000 estadios para la circunferencia de la Tierra, pero después rectificó su medida y estableció el valor de 180.000 estadios, valor que PTOLEMEO adoptaba también.

Posidonio fué uno de los primeros antiguos que emitiera ideas sobre la refracción de la luz, aunque después de HERON, quien fué su predecesor, a pesar de la opinión contraria de autores que confundieron Posidonio Rodio con POSIDONIO ALEJANDRINO, sabio que HERON cita en sus obras.

CLEOMEDIO
(¿80?)

CLEOMEDIO, astrónomo y filósofo griego, nació probablemente unos 80 años antes de J. C. Esta fecha parece

ser la más probable, a pesar de que ningún dato seguro haya permitido establecerla en forma definitiva y que los historiadores coloquen el nacimiento de ese sabio en fechas que oscilan entre 100 años antes de J. C. y el año 200 de nuestra era.

En óptica, Cleomedio expuso una teoría de la visión parecida a la de PITAGORAS, y una teoría de la reflexión y de la refracción.

La refracción de la luz era casi desconocida por los antiguos. ARISTOTELES había observado que un palo introducido en parte en el agua, parece quebrado, pero no pudo explicar de ninguna manera el fenómeno. HERON y POSIDONIO sólo mencionan la refracción sin mayor precisión. Cleomedio parece ser el primero que haya estudiado seriamente la cuestión. Se refiere, como de un hecho ya conocido, al experimento de la moneda que, colocada en el fondo de un recipiente vacío y observada de tal modo que quede ocultada por uno de los bordes de éste, aparece a la vista del observador, por refracción, tan pronto como se llene de agua el recipiente. Agrega que, por la misma razón, se ve el Sol después de estar debajo del horizonte. Sabía, en fin, que el rayo se acerca a la perpendicular cuando pasa a un medio más denso y recíprocamente, pero no da la menor explicación en cuanto a la causa del fenómeno.

En astronomía, en medio de graves errores, escribió comentarios interesantes sobre trabajos de sus predecesores y especialmente de POSIDONIO, que fué quizá su maestro; y aportó nuevas pruebas de la esfericidad de la Tierra, ya reconocida por todos.

LUCRECIO
(95-52)

LUCRECIO, célebre poeta romano, nació 95 años antes de J. C. y murió en Roma, su ciudad natal, en 52.

Su nombre debe figurar en una historia de la física, no porque haya aportado algún descubrimiento a esta ciencia,

sino por haber trasmitido a sus conciudadanos, en un hermoso poema, teorías filosóficas e ideas científicas de origen griego.

El hecho no es vulgar en la historia romana y hombres como Lucrecio, VITRUVIO, SENECA, que en la historia de las ciencias griegas pasarían inadvertidos, adquieren una importancia capital en Roma, que tan pocos sabios tenía.

Las teorías filosóficas de EPICURO son casi las únicas que la clase culta romana haya conocido y, aun así, las interpretó tan mal, que pronto las transformó en justificaciones para su corrupción.

Lucrecio reprodujo ideas de DEMOCRITO y EPICURO y, en su poema, se encuentran algunos datos científicos de verdadero valor histórico.

Hablando de la imanación del hierro, explicó su acción por torbellinos que emanan de su interior, adoptando así una idea ya emitida por DEMOCRITO y EPICURO y que PLUTARCO repitió más tarde. Describe una cadena magnética formada por un pedazo de calamita mantenido por un anillo de hierro que a su vez mantiene otro anillo por imanación, y así sucesivamente hasta formar una cadena en la cual cada eslabón mantiene el siguiente. Los antiguos conocían la atracción ejercida por el imán sobre el hierro pero Lucrecio es tal vez el primero que haya hablado de la repulsión magnética. Sabía también que el poder magnético de la calamita o del hierro puede ejercerse a través de otras substancias.

Partidario de la teoría atomística de DEMOCRITO, atribuía a los átomos formas distintas y así explicaba que el ajenjo debe su gusto amargo a los ganchos acerados de sus átomos y que la miel tiene, al contrario, un gusto tan suave por tener átomos perfectamente redondeados.

En óptica, era partidario de la teoría epicúrea de la visión y amplió las ideas de EMPEDOCLES, LEUCIPO, DEMOCRITO y EPICURO. Sabía ya que la luz solar está compuesta por varios colores.

En mecánica, explicaba que en el vacío todos los cuerpos caen con la misma velocidad.

SOSIGENES
(80-¿?)

SOSIGENES, filósofo peripatético y astrónomo egipcio, nació en Alejandría unos 80 años antes de J. C.

Se conocen varias de sus obras y entre ellas un tratado de la visión y tratados de astronomía, pero se recuerda más bien a este sabio por haber sido encargado por César de la reforma del calendario.

Los romanos, y especialmente los sacerdotes, exigían esta reforma, pues con el año de Rómulo, de 304 días, y a pesar de la reforma ya aportada por Numa (355 días), las fiestas y los sacrificios caían en momentos distintos de un año para otro y, al cabo de muchos años, ciertas ceremonias tradicionales caían hasta fuera de su estación. Los sacerdotes se veían entonces obligados a cambiar el orden de esos oficios, lo que provocaba numerosas confusiones.

La reforma juliana consistió en atribuir al año 365 ¼ días, repartidos en doce meses: Enero con 31, Febrero (28 y 29 cada cuatro años), Marzo (31), Abril (30), Mayo (31), Junio (30), Quintilis (31), Sextilis (31), Setiembre (30), Octubre (31), Noviembre (30) y Diciembre (31).

Los nombres de Quintilis y Sextilis fueron reemplazados más tarde por los de Julio (de Julio César) y de Agosto (por Augusto).

Sosígenes y MARCO FABIO se encargaron de la tarea científica de la reforma del calendario y, en el año 44 antes de J. C., entró en uso el calendario juliano, pero los sacerdotes se equivocaron e intercalaron un día cada tres años en vez de cada cuatro y fué sólo en el año 8 antes de J. C. que este error fué corregido.

Recordaremos que EUDOXIO DE CNIDE ya había encontrado el valor de 365 ¼ días para el año, pero que sólo había introducido este valor en astronomía, y agregaremos que HIPARCO ya sabía que esta medida tampoco era absolutamente exacta, aunque sólo fué en 1582 de la era vulgar que, bajo los auspicios del papa Gregorio XIII, se introdujo la corrección necesaria, en el uso civil. En Rusia y

países de ritual griego, esta reforma no ha sido adoptada y se sigue todavía el calendario juliano de Sosígenes.

SENECA
(3-65)

LUCIO ANNEO SENECA nació en Córdoba en el año 3 de nuestra era y murió en 65.

Hijo de Marco Anneo Séneca, célebre escritor español, se dedicó desde la infancia al estudio y llegó bien pronto a hacerse notar como filósofo, literato y orador.

En filosofía, trató de unir las teorías de PITAGORAS con las de los estoicos. Su vida, sin embargo, guiada sólo por su ambición, no fué la de un verdadero filósofo.

Maestro de Nerón, es probable que Séneca haya aconsejado a éste el horrible crimen que cometió al manchar sus manos con la sangre de su madre. Agripina, sin embargo, había colmado al filósofo de honores, llevándolo al alto puesto de pretor y luego de cónsul.

Nerón llegó a disgustarse con su maestro y lo condenó a que se matara él mismo. Séneca, partidario del suicidio, siempre había mirado la muerte con calma y obedeció serenamente a su discípulo y emperador, abriéndose las venas de la muñeca.

Este ambicioso tenía una erudición inmensa y la física no le era desconocida. En sus "Cuestiones Naturales" se encuentra una colección de hechos e hipótesis, pero, como en todos los sabios romanos, sin espíritu científico, sin comprobación seria.

Explicó así que el arco iris es la descomposición de la luz solar que pasa por el agua y que puede ser comparada a la descomposición que provoca un vidrio triangular; que la temperatura atmosférica desciende a medida que se eleva la altitud; que las lentes, las gotas de agua y los globos de vidrio tienen la propiedad de aumentar el tamaño de los

cuerpos que se miran a través de ellos; que la evaporación de los líquidos produce un notable enfriamiento; que los cometas son astros de curso regular; e hizo, en fin, observaciones bastante exactas sobre la refracción y la atmósfera.

Las obras de Séneca fueron muy estimadas durante la Edad Media y los tiempos modernos.

PLINIO
(23-79)

Plinio, o más bien CAIO PLINIO SEGUNDO, nació en Como o en Verona, bajo el reinado de Tiberio en el año 23 de nuestra era y murió en Estabia, cerca de Nápoles, en el año 79.

Vivió pues, en aquel turbulento período del Imperio Romano marcado por los reinados de Tiberio, Calígula, Claudio I, Nerón, Galba, Otón, Vitelio y Vespasiano y conoció personalmente a varios de estos emperadores, pues pertenecía a una familia noble.

Suele ser llamado PLINIO EL ANTIGUO, para diferenciarlo de su sobrino e hijo adoptivo apellidado PLINIO EL JOVEN, que fué un célebre escritor y el biógrafo más fiel de su tío.

Muy joven aún, Plinio vino a Roma, donde estudió las letras y algo de ciencia con el maestro Apión y donde recibió más tarde el título de abogado.

Tenía veinticinco años cuando el emperador Claudio I le dió el mando de un ala de caballería en una expedición a Germania. Visitó así, Galia y Bélgica y, de vuelta a Roma, empezó a escribir su vasta "Historia de las Guerras en Germania", que comprendía veinte tomos, y se dedicó a su profesión adquiriendo, muy pronto, gran fama de orador.

Abandonó la carrera de las armas para dedicarse al estudio aunque era peligroso demostrar mucha sabiduría en aquella época en que emperadores tiránicos temían a los filósofos y, en general, a todos los hombres de saber que pu-

diesen juzgar sus actos. Tácito, refiriéndose a ese período decadente, decía: "En Roma, se había expulsado a todos los que enseñaban la sabiduría, se habían prohibido todas las artes liberales para que nada hermoso y nada honesto se ofreciera a la vista."

En esa época pues, en que todo lo bueno y todo lo virtuoso era sospechado, Nerón, sin embargo, dió a Plinio un alto puesto en España, donde pudo recoger muchos datos útiles para la preparación de su inmensa y enciclopédica obra de "Historia Natural" que empezó a escribir en el año 71.

Cuatro años más tarde, en el 75, Vespasiano le dió el mando de la escuadra de Misena, y es en agradecimiento de la protección y benevolencia que siempre le demostró este enérgico y laborioso emperador que Plinio dedicó a su hijo Tito su obra principal.

El 23 de Agosto del año 79, Plinio estudiaba en su casa del cabo Misena, cuando su hermana lo interrumpió para hacerle notar una nube extraña que venía hacia ellos. Llevado por su curiosidad de amante de la ciencia, el famoso historiador hizo fletar un barco para descubrir la causa del fenómeno. Pronto dióse cuenta que el Vesubio, llamado entonces "Somma" y considerado como una simple montaña, era un volcán y había entrado en erupción. Quiso acercarse, pero su avance fué impedido por una espesa lluvia de fuego; decidió entonces dirigirse hacia la ciudad de Estabia, donde desembarcó poco después. Fuése a la casa de un amigo, Pomponiano, pero después de pocas horas el peligro se hizo tan inminente que decidió huir.

Era demasiado tarde ya. Ráfagas de gases sulfurosos, cenizas ardientes, piedras proyectadas con violencia hacían la marcha horriblemente penosa. Una nube de vapores asfixiantes rodeó a Plinio, quien cayó para siempre, víctima de la noble curiosidad que lo llevó a presenciar aquella terrible erupción, que sepultó bajo sus cenizas a Pompeya, Herculano y Estabia.

Lo que extraña más en la obra de Plinio es su extensión. Su sobrino PLINIO EL JOVEN hablaba así de sus libros: "El primer libro de mi tío es un tratado sobre "El " arte de lanzar la azagaya a caballo", en un solo to-

" mo. Mi tío lo ha escrito con toda habilidad y cui-
" dado cuando era jefe de un ala. La "Vida de Q.
" Pomponio Segundo", en dos tomos, es su segunda
" obra: Plinio fué particularmente querido por Pom-
" ponio y este libro fué como un tributo dedicado a la
" memoria de su amigo. Las "Guerras de la Germania"
" son veinte tomos en que ha reunido todas las guerras
" que hemos hecho contra los Germanos... Luego vi-
" nieron los tres libros del "Estudioso"... Ocho libros
" del "Lenguaje dudoso" fueron escritos bajo el reina-
" do de Nerón cuando cualquier estudio un poco libre y
" elevado era peligroso. En fin, la "Historia" en trein-
" ta y un libros y la "Historia de la Naturaleza" en
" treinta y siete. Esta última obra es extensa, profun-
" da y no menos variada que la misma naturaleza."

"Os extrañais que tantos libros, de los cuales mu-
" chos han necesitado un gran número de averiguacio-
" nes, hayan sido escritos por un hombre ocupado; os
" extrañaréis más aún cuando sepais que durante al-
" gún tiempo ha sido abogado, que ha muerto a los
" cincuenta y seis años y que ha sido molestado ya
" por empleos públicos, ya por la amistad de los prín-
" cipes. Pero tenía un espíritu vivo, una actividad in-
" creíble..."

Plinio fué un historiador de valor indiscutible, un literato de una pureza extrema, un orador elocuente, pero, a pesar de todos estos títulos y de su incansable actividad, no ha tenido en la ciencia más que una influencia perniciosa.

Su célebre "Historia Natural", compilación de más de quinientas obras antiguas, nos interesa mucho por los datos históricos que nos proporciona, pero contiene y defiende las creencias más absurdas y más fantásticas que se puedan imaginar. Ese libro, que fué consultado universalmente durante unos diez y seis siglos y considerado como invalorable por sus datos de astronomía, física, geografía, agricultura, industria, comercio, artes, medicina, botánica, mineralogía, zoología, y... hasta cocina, ha inmortalizado conjuntamente con los conocimientos de su época, errores tan ridículos a veces como la creencia en los cíclopes de un ojo,

las mujeres madres de toda clase de animales, monstruos de un solo pie con los ojos en los hombros... en fin, todas esas fábulas que apartamos fácilmente de los datos exactos de la obra, pero que encontraron buena acogida en los espíritus incultos de la Edad Media. Es lo que CUVIER explicaba en este juicio: "Lo verdadero y lo falso se en-
" cuentran allí en cantidades casi iguales... Plinio,
" en cuanto a los hechos, no tiene hoy interés verdadero
" sino en lo que se relaciona a las costumbres de los
" antiguos, a los procedimientos que seguían en las ar-
" tes, a algunos datos de historia o a algunos detalles
" geográficos..."

En Física no están desprovistos de interés los datos que sus obras nos suministran.

Ya sabemos cómo atribuye el descubrimiento de la piedra magnética a un pastor, llamado MAGNES, que sintió un día la atracción que ejercía una de estas piedras oculta en el suelo, sobre los clavos de sus sandalias y la punta de su cayado.

Observa que los rayos solares concentrados por medio de una lente pueden incendiar ciertos objetos; que esos mismos rayos atraviesen el agua sin comunicarle su calor; que la luz se propaga mucho más ligero que el sonido; que el agua dulce no tiene la misma conductibilidad que el agua de mar; que el aceite calma el furor de las olas; que el frotamiento del ámbar es condición indispensable para volverlo eléctrico.

PLUTARCO
(50-¿120?)

PLUTARCO, filósofo griego, nació en Queroneo de Beocia, en el año 50 de nuestra era y murió en esa misma ciudad en 120 o 130.

Dió lecciones de filosofía en su ciudad natal, donde siempre vivió, y en Roma, que visitaba con frecuencia.

Su fama era muy grande y entre sus numerosos discípulos se encontraba Trajano.

Historiador honesto, interesa por sus detalladas narraciones sobre la vida de los grandes hombres, expresadas en forma literaria y fijándose más en rasgos típicos que en hechos famosos. En "Vidas Paralelas", obra en que ha reunido todas esas biografías, explica muy claramente su método con las siguientes palabras: "No escribimos historias,
" sino vidas... No es en las acciones más ruidosas que
" se manifiesta la virtud o el vicio, sino en un hecho de
" un momento, un dicho agudo, una niñería que sirve
" más para probar costumbres que batallas en que mue-
" ren millares de hombres..." En otra obra, titulada: "Obras Morales", se encuentran escritos científicos.

Hemos dicho anteriormente que LUCRECIO parece haber sido el primero en observar la repulsión magnética, pero Plutarco cuenta que los egipcios conocían ya la doble acción del imán, a la que daban los nombres de "Horo y Tifón", símbolos de unión y separación. Expresa con claridad la observación de la polaridad del imán.

Sobre la causa del magnetismo se muestra partidario de DEMOCRITO, EPICURO y LUCRECIO, que lo atribuían a torbellinos que emanan de la masa del imán.

Para explicar la electricidad del ámbar, argüía que, al frotar esta materia, se destapan sus poros, produciéndose así corrientes de aire que atraen los cuerpos ligeros.

PTOLEMEO
(Siglo II)

CLAUDIO PTOLEMEO (1) (o PTOLOMEO o TOLOMEO) nació en Ptolemais, ciudad griega de Tebaide y murió en Alejandría en fecha desconocida. Su obra astronómica se realizó de 128 a 168 de nuestra era.

Pocos datos ciertos tenemos acerca de su vida. Sólo puede decirse con seguridad que pasó muchos años en Alejan-

(1) Hemos adoptado la forma: Ptolemeo, para el sabio, para distinguirlo de los reyes Ptolomeos.

dría, donde escribió sus célebres trabajos de astronomía, geografía, óptica y matemáticas.

Según algunos autores, Ptolemeo descendía de los reyes Ptolomeos, pero, según otros, esta homonimia no permite presumir que existiera un parentesco entre el sabio y el general de Alejandro, pues el nombre de Ptolomeo era muy vulgar en Egipto.

En astronomía, Ptolomeo ejerció una influencia semejante a la de ARISTOTELES en filosofía, estableciendo un sistema que permaneció respetado e indiscutido hasta que COPERNICO estableciera sus inmortales teorías.



PTOLEMEO
(Grabado antiguo)

El sistema de Ptolemeo tiene como base la demostración de la completa inmovilidad de la Tierra y de su posición central en el Universo. Trata de "soberanamente ridícula" toda teoría que contradiga estas ideas e invoca razones de las cuales muchas nos parecen, ahora, errores groseros. Conserva la hipótesis de las esferas concéntricas de cristal, que fué emitida por ANAXIMANDRO y repetida

por ANAXIMENES y muchos otros astrónomos antiguos. A pesar de esos errores iniciales, la obra tiene un valor inmenso para la astronomía, por sus numerosas indicaciones que no nos corresponde analizar aquí.

En óptica, sus conceptos son, sin duda, los más perfectos y los más profundos de la antigüedad. Su teoría de la visión, inspirada por la de PITAGORAS, es completamente errónea, pero tiene sobre la refracción ideas exactas, aplicadas con justeza a la astronomía. Estableció así largas tablas de los índices de refracción en el paso de la luz del aire al agua (1:0'76344, o sea 4:3), del aire al vidrio (1:0'67580, o sea 3:2), del agua al vidrio (1:0'9019, o sea 9:8), y estudió con más perfección que sus predecesores, la teoría de los espejos.

Ya hemos dicho que sólo se conocieron cuatro obras de catóptrica en la antigüedad: de EUCLIDES, de ARQUIMEDES, de HERON y de PTOLEMEO. El origen de esta última es muy dudoso y su autenticidad ha sido muy discutida. Parece ser más segura la afirmación de los historiadores que atribuyen a Ptolemeo los cinco tomos de óptica traducidos del árabe al latín por AMIRATO EUGENIO SICULO. El primero de esos cinco volúmenes ha desaparecido; el segundo trata de la visión con conceptos que recuerdan los de ARISTOTELES y de PITAGORAS; el tercero estudia los espejos planos y convexos; el cuarto, los espejos cóncavos, compuestos, cónicos y piramidales; y el quinto contiene sus estudios sobre refracción.

En sus investigaciones de óptica, Ptolemeo siguió un método exclusivamente experimental e hizo determinaciones sin llegar a establecer leyes ni principios, aunque, en un momento, previó la posibilidad de la ley de la refracción y estuvo muy próximo a establecerla.

Se puede afirmar, en fin, que su influencia sobre la óptica ha sido tan grande como la que ejerció sobre la astronomía y que nada se agregó a sus conocimientos en esta materia durante más de catorce siglos.

Su "Geografía" no fué menos importante y, hasta el siglo XVI, fué el verdadero guía de todos los viajeros. En esa obra atribuye a la circunferencia de la Tierra un valor de

180.000 estadios, igual a la evaluación de POSIDONIO.

Su obra mayor es su "Composición Matemática" que se compone de trece libros y es generalmente conocida como el "Almagesto" (Libro Magno), nombre que le dieron los árabes cuando la tradujeron del griego, en el siglo IX. Unos 400 años más tarde, los judíos españoles hicieron conocer esta obra inmortal, la que fué traducida inmediatamente al latín y fué vulgarizada en el siglo XV, gracias a la imprenta.

PAPO
(340-?)

PAPO nació en el año 340 de nuestra era en Alejandría.

Pocas de las obras de ese célebre geómetra han llegado nosotros y éstas son principalmente críticas o comentarios a los antiguos. (1)

DESCARTES fué, quizá, el primero que atribuyera a Papo su verdadero valor y, desde entonces, es considerado como uno de los más grandes geómetras de la antigüedad.

Se ha podido probar que él es el verdadero autor del teorema sobre centro de gravedad, que se atribuye generalmente a GULDIN (geómetra suizo, 1577-1643), de quien lleva el nombre y que se enuncia: "Toda figura formada por
" la rotación de una línea o de una superficie alrededor
" de un eje inmóvil, es el producto de la cantidad gene-
" ratriz por el camino que describe el centro de gra-
" vedad."

Es también en las obras de Papo que se habla por primera vez de las cinco máquinas simples principales: la palanca, la cuña, la polea, la rosca y el torno.

Fué el primero, quizá, en ocuparse de las condiciones de equilibrio de un cuerpo sobre un plano inclinado, pero,

---

(1) "Pappus d'Alexandrie. Oeuvres Mathématiques" (Bibl. de la Facultad de Ingeniería).

partiendo de un punto de vista falso, al creer que se necesita ejercer constantemente una fuerza para que un cuerpo conserve su movimiento en un plano horizontal, llega a conclusiones erróneas también.

Papo fué el último miembro de la Academia de Alejandría que se ocupara de física y su nombre clausura por consiguiente la lista de los físicos de la antigüedad.

EDAD MEDIA

Aspecto General

La civilización antigua derrumbóse completamente durante los primeros siglos de la Edád Media, siglos crueles y obscuros de conquista y destrucción. Y decimos "Edad Media" porque no limitaremos ese período a los cuatro siglos anteriores al Renacimiento como lo hacen los historiadores modernos, sino que le conservaremos su extensión de mil años, desde la decadencia del mundo antiguo hasta el Renacimiento.

Los Bárbaros, en Europa, aniquilaban todo rasgo de sabiduría, y Justiniano el Grande daba el último golpe a la ciencia griega decretando en el año 529, el cierre de todas las escuelas filosóficas de su imperio, desterrando a los sabios, destruyendo sus obras, persiguiendo y borrando en todas partes los últimos vestigios del saber helénico.

En el sur, otros conquistadores, los árabes, extendían los límites de sus dominios y convertían los pueblos a su fé, formando un inmenso imperio, en Asia, Africa y Europa. Ellos también, llevados por los instintos de destrucción naturales a todos los conquistadores y por su ciego fanatismo, persiguieron la ciencia. Es así que Alejandría, que parecía ser el último reducto de la civilización griega, fué conquistada por Omar en el año 640, y su hermosa biblioteca fué quemada por orden de ése fanático bajo el pretexto de que: "Si estos libros confirman el Corán son inútiles y si lo contradicen son peligrosos". Los sirios, sin embargo, habían traducido las obras griegas a su idioma, desde el siglo IV, y, cuando los

árabes, vueltos a la calma de la paz, establecidos en esas tierras en que la gloriosa civilización helénica había florecido, sintieron la necesidad de hacer surgir del olvido a las ciencias griegas, los médicos sirios que se encontraban en la corte del califa hicieron conocer aquellas traducciones.

Abu Giafar Al Manzur, segundo de los califas abisidios, cuyo reinado empezó en el año 754 y terminó con su muerte, en 775, fundó la ciudad de Bagdad, la capital de las artes, de las ciencias y de las letras, una nueva Atenas, una nueva Alejandría, atrayendo a ella sabios, artistas y literatos, y reuniendo en ella todos los manuscritos que en el enorme imperio se pudieron encontrar.

El más célebre de los califas fué Harún Al Raschid, que reinó de 786 a 809 y siguió la benéfica política de sus predecesores. Fundó grandes escuelas de medicina y escuelas de idiomas, de donde egresaban intérpretes encargados de traducir al árabe los manuscritos extranjeros. Dictó un decreto por el cual prohibió la construcción de toda mezquita a la que no fuera adjunta una escuela, y se dice que cuando viajaba, siempre se hacía acompañar por un séquito de más de cien sabios.

Harún era contemporáneo de Carlomagno y éste gran emperador, que aunque poco instruido apreciaba altamente el valor de la instrucción y deseaba ardientemente elevar el nivel cultural de su pueblo, mantuvo relaciones con el califa árabe para inspirarse en su obra de civilización.

En el año 756, el Imperio Arabe se dividió en dos califatos: uno Asiático y Africano que conservó por capital a Bagdad, y otro Europeo que tuvo por centro a Córdoba.

La civilización del Imperio Arabe de España, más conocida a causa de su proximidad con los otros países de Europa y por la influencia que tuvo sobre el renacimiento de éstos, fué tan hermosa como la del imperio del Este. La ciudad de Córdoba tenía más de un millón de habitantes y en España sola había más de 70 bibliotecas públicas. Así competían en brillo las escuelas, universidades y bibliotecas de Córdoba, Toledo, Granada, Sevilla, Murcia con las de Bagdad, Kufa, Alejandría, Ispahan, Fez, Kahira, Bassora, Bochara y muchas otras.

Mientras los Arabes extendían en todo su dominio el amor al estudio y a la belleza, los pueblos europeos, sucios, ignorantes, bañados en sangre, sólo se preocupaban de las bajas disputas de los señores, que se quitaban los unos a los otros trozos de terreno. La ciencia, casi nula, de los padres de la Iglesia, era allí la única manifestación de cultura que subsistiera; el razonamiento y la lógica habían desaparecido de los espíritus, dominados por una fe ciega en lo sobrenatural y en lo fantástico, hasta el punto de reemplazar la ciencia por la brujería, la astrología o la nigromancia y la medicina por las creencias en curas milagrosas de extrañas reliquias.

SIGLOS X y XI. — Desde el siglo X, algunos hombres superiores atraidos por el saber y la vida lujosa de los árabes, venían de Alemania, Italia y de Francia para estudiar en España. No fueron ellos sin embargo, los que más favorecieron la influencia de la cultura árabe en Europa; fueron más bien los judíos españoles que, viajando como comerciantes por todos los países, propagaron la ciencia de sus grandes sabios, entre los cuales se destacaban los rabinos Ibn Gabirol (1093-1167) y Juan de Sevilla, y abrieron así el camino a los médicos judíos que penetraron en las incultas regiones, destruyendo las ridículas creencias en lo sobrenatural.

SIGLOS XII y XIII. — Ya eran muchos los cristianos que pedían a los herejes los secretos de su saber: GERARDO DE CREMONA (1114-1187) tradujo numerosas obras árabes; LEONARDO DE PISA (1175) publicó obras de aritmética inspiradas por los árabes y los judíos; VICENTE DE BEAUVAIS (1189-1265) escribió una verdadera enciclopedia en 10 tomos, compilación de todo lo que pudo venir de los conocimientos científicos de los árabes; JUAN HOLYWOOD (1190) monje inglés, publicó la primera obra de astronomía que apareciera en Europa desde la caída del Imperio Romano; ALBERTO EL GRANDE (1205-1280) pasó por mago por su gran saber en química y tuvo por discípulo a SANTO TOMAS DE AQUINO (1225-1274), que no gozó de menos fama que su maestro.

En la Edad Media, el siglo XIII fué por mucho el más fecundo para la ciencia.

Es en ese siglo que vivió además de ALBERTO EL GRANDE y TOMAS DE AQUINO ya citados, uno de los grandes hombres de la historia de la Física, el monje inglés ROGER BACON, espíritu verdaderamente superior.

No debemos olvidar tampoco, en el siglo XIII, la influencia que tuvieron para el progreso de la ciencia, príncipes como FEDERICO II y ALFONSO X DE CASTILLA.

FEDERICO II, emperador de Alemania y heredero de Sicilia, era el príncipe más instruído de su tiempo. Más italiano que alemán, fué en Sicilia o en el Sur de Italia donde más le agradó vivir. Desde el comienzo de su reinado, tuvo que luchar contra los Papas, a quienes no les agradaba la política del emperador. Federico tenía en su corte, además de su sabio consejero Pedro de Vignes, a muchos sabios árabes y judíos y, tanto en Sicilia, como en su reino de Nápoles, se preocupó mucho de la instalación de bibliotecas. Fundó la Universidad de Nápoles y protegió la escuela de medicina de Salerno. Gregorio IX lo obligó a cumplir su promesa de realizar una cruzada, pero, en Tierra Santa, Federico no derramó sangre y permitió a los Sarracenos de practicar su culto en la ciudad Santa. Todo esto indujo a Inocencio IV a excomulgar, declarar impío, sacrílego y perjuro al emperador, destituirlo de todas sus coronas y levantar contra él a las ciudades italianas y a su propio pueblo.

ALFONSO X DE CASTILLA, apodado el Sabio, reinó de 1252 a 1284. Su madre, Beatriz de Suabia, era prima hermana de Federico II y esto fué lo bastante para que el Papado lo considerara sospechoso y se opusiera a sus deseos. Fué un erudito para su tiempo y tuvo muchas relaciones con los sabios judíos y árabes. Las famosas "Tablas astronómicas Alfonsinas" fueron construídas por más de 50 astrónomos cristianos, judíos y moros, reunidos por él en Toledo. Bajo su protección o aun bajo sus indicaciones, se publicaron muchas obras de astronomía, matemáticas, ciencias físicas, y obras literarias. ALFONSO X y FEDERICO II han ayudado pues eficazmente a la propagación de la influencia árabe en Europa y mayor gloria no puede ser reivindicada por ningún otro soberano de la Edad Media.

Antes de dejar el siglo XIII, debemos recordar que fué probablemente en ese siglo que fueron inventados los relojes de rueda, las gafas y la brújula. En verdad, no se ha podido determinar la fecha, ni el autor del invento de la brújula. Se sabe que, fuera de una cita de PLUTARCO, los antiguos no conocían la polaridad de la piedra imán o de la aguja magnética. Muchos autores atribuyen el invento de la brújula al navegante amalfitano FLAVIO GIOJA, en 1302 o en 1303, mientras que algunos lo atribuyen a los Daneses (Normandos), por encontrarse una referencia a "piedras conductoras de la navegación" en una obra del escritor danés ARE FRODE, que nació en 1068.

Los derechos de FLAVIO GIOJA no pueden ser sostenidos ya que en 1190, GUYOT DE PROVINS habló de la aguja magnética en un poema satírico "La Biblia" en los siguientes términos: "Los marineros hacen un arte que no miente-Por la virtud del imán. Tienen una piedra fea y obscura, a la que el hierro se junta; luego con una aguja la han tocado, - en una paja la han acostado, - en el agua la ponen y nada más - y la paja la mantiene encima, luego la punta se dirige hacia la estrella..." (estrella polar que indica el norte a los marineros). Si esto no fuera suficiente podrían agregarse muchas pruebas más, y entre ellas un pasaje de la "Historia Oriental" de Jacobo Vitry, que fué obispo de Ptolemais, que habla de la aguja magnética como ya conocida en 1215, o la afirmación de ABUL FEDA, que dice que el uso de la aguja magnética era común en Oriente y Occidente a fines del siglo XII. Lo probable es que se deba a GIOJA el modo de suspensión de la aguja en un eje, en vez de hacerla flotar en agua por medio de una paja, como lo describe GUYOT DE PROVINS.

Las pretensiones de los daneses son también refutables, pués no se ha podido encontrar mención de la polaridad de la piedra imán, en la obra original de ARE FRODE, sino recién en una edición del siglo XIII, época en que, como lo hemos visto, ya era común el uso de la aguja magnética.

Los árabes no parecen haber conocido la brújula mucho antes que los europeos, pues, en 1007, el árabe YBN YUNIS dió una lista de todos los instrumentos conocidos y

no menciona la brújula; pero ABUL - FEDA, a fines del siglo XII, y BARLAK, a principios del XIII, se refieren a ella como instrumento de uso corriente.

Los Chinos, indiscutiblemente, han precedido mucho al Occidente en este invento pues parece que conocían la polaridad magnética desde el siglo II de nuestra Era, según un documento del diccionario CHONE - WEN. De lo dicho puede deducirse que la brújula, conocida muchos siglos atrás, por los Chinos, recién fué introducida en Europa en el siglo XII, quizás por intermedio de los árabes.

SIGLO XIV. — El siglo XIV, con la Guerra de Cien Años, fué, al contrario del anterior, de muy poca importancia para la física, a pesar de que en Italia surgieron genios como Dante, Petrarca, Boccaccio, que abrieron la era gloriosa del Renacimiento.

En conjunto podemos afirmar que la Edad Media carece de interés para la historia de la física y de la ciencia en general. Faltó por completo el espíritu científico y durante ese período de más de 1000 años, sólo se llegó a conservar una parte de la obra de los antiguos. Hasta los mismos árabes, que contaron con tantos hombres de ciencia, no llegaron a contribuir eficazmente al progreso de la física y casi podría decirse que su única obra — o por lo menos la parte más importante de su obra, — ha consistido en librar de la destructora avalancha de los bárbaros, los tesoros de la antigüedad.

Esta afirmación puede parecer extraña, pues se ha arraigado la equivocada opinión de que la ciencia árabe fué inmensa, maravillosa y casi de generación espontánea.

En oposición a este juicio podría recordarse el muy categórico de DUHEM de que la ciencia árabe no existe, juicio compartido por numerosos autores modernos. La cuestión no es, por otra parte, una nueva originalidad de esta época nuestra en que parece existir un constante deseo de modificar los criterios históricos aceptados en épocas anteriores. Ya en 1883, RENAN reconocía que se había exagerado mucho el valor de la ciencia árabe pero que era "necesario evitar el exceso contrario que consiste en desacreditarla inmoderadamente". Y el gran pensador francés agregaba: "Entre la

desaparición de la civilización antigua en el siglo VI y el primer despertar del genio europeo en los siglos XII y XIII, ha habido lo que puede llamarse el período árabe, durante el cual la tradición del espíritu humano se efectuó en las regiones conquistadas por el Islam. Esta ciencia árabe, ¿qué tiene de árabe en realidad? La lengua, nada más que la lengua. Sería tan gravemente erróneo adjudicar a la Arabia la Ciencia y la Filosofía árabes, como adjudicar toda la literatura cristiana latina, todos los escolásticos, todo el Renacimiento, toda la ciencia del siglo XVI y de parte del XVII a la ciudad de Roma, so pretexto de que todo eso está escrito en latín..." (1) La exaltación de los valores de la ciencia árabe se debe en parte a los pensadores del siglo XVIII, que servían así su deseo de disminuir el valor de la influencia cristiana en la formación de la cultura moderna, y en parte a la poderosa imaginación de los románticos del siglo XIX, que se deleitaban en descubrir en Arabia una fuente abundante de todo lo maravilloso y misterioso. Digamos, pues, como E. GARCIA DE ZUÑIGA: "La civilización se tornó árabe sin dejar de ser griega... Algunas de las obras maestras del pensamiento heleno se hubieran perdido irremediablemente si no las conservara hasta nosotros la piadosa labor de los traductores islamitas. Este mérito explica y justifica la más viva simpatía intelectual, pero a él se han sumado motivos menos legítimos para convertirla a veces en una admiración desmedida". Queda pues reforzada la apreciación que acabamos de hacer sobre la importancia de la influencia de los árabes sobre las ciencias: "Casi podría decirse que su única obra — o por lo menos la parte más importante de su obra — ha consistido en librar de la destructora avalancha de los bárbaros, los tesoros de la antigüedad".

Pero debemos agregar que conocieron mejor que los griegos el valor de la experiencia y recurrieron especialmente a ella en Química, pero — contrariamente a la tendencia científica griega — los árabes prefirieron acumular obser-

(1) Tomamos estas citas de E. GARCIA DE ZUÑIGA. "Hist. de las Matemáticas". V conf. Revista de Ingeniería, Montevideo, Mayo 1933. Véase: "Penseurs de l'Islam", Carra de Vaux.

vaciones de hechos aislados a especular acerca de los grandes privilegios científicos.

La óptica fué la parte de la física que más preocupó a los árabes por tener más relaciones con las matemáticas y la astronomía, sus ciencias predilectas; y, aún en este terreno, apenas puede considerarse que los trabajos de ALHAZEN hayan agregado algo a lo ya establecido por PTOLEMEO. Mayor fué indiscutiblemente su influencia sobre el progreso de la astronomía con ALBATENIO (850), ABDALLA AL MAMUN (814), y MAHOMED BEN MUSA BEN CHAKER (825-873), AHMED BEN MUSA BEN CHAKER y HACAN BEN MUSA BEN CHAKER, los tres hijos del célebre historiador MUSA BEN CHAKER, que vivía en Bagdad en el siglo IX; en matemáticas, con MAHOMED BEN MUSA (975) que dejó su nombre al álgebra, con THEBIT BEN CORRAH (835-900), ABUL WEFA (siglo X), AL KHARKI (1010); en geografía con EDRISI (nacido en 1099) y ABUL FEDA (1273-1331); en medicina con AVICENA ,(980-1037) RASES (840-923), y ALI ABBAS (siglo X); y en química, en fin con el incomparable GEBER (780-840).

La Edad Media, por ignorada y compleja, parece estar más alejada de nosotros que la misma antigüedad, pero se ha aproximado algo gracias a la vasta obra del célebre físico francés, muerto pocos años ha, PEDRO DUHEM, quien ha dedicado su vida al estudio de la ciencia durante la Edad Media. Su intensa labor consistió en el estudio de manuscritos de la Biblioteca de París, de los cuales muchos nos son aún desconocidos, y los resultados de esa labor nos permiten suponer que aún subsisten muchos datos ignorados acerca de ese período de la historia y que su descubrimiento permitiría tal vez modificar, más aún de lo que lo hiciera la obra de DUHEM, nuestro criterio tan severo y hasta despectivo, acerca de la esterilidad de la Edad Media, esa "noche profunda de la ignorancia".

GEBER
(780-840)

GEBER o ABU MUSSAH AL SOFI, nació en el año 780 y murió en 840.

Los antiguos conocían muchos cuerpos y los utilizaban en sus talleres; pero sus filósofos nunca pensaron en reunir estos conocimientos para hacer de ellos la base de una ciencia nueva.

El primer químico verdadero fué, sin duda, el árabe GEBER, del que se sabe poco en cuanto a su vida (1). Créese que nació en Kufa, a fines del siglo VIII y que fué profesor de la Universidad de Sevilla. Este sabio no fué igualado en su ciencia hasta el siglo XV y no sin razón BACON lo llamó "el maestro de maestros" y CARDANO lo consideró como uno de los doce más grandes genios del mundo. El método de Geber consistía en hacer armonizar siempre el razonamiento con el experimento, y esto lo explicó él mismo en una de sus obras diciendo: "No trataremos, ni fallaremos más que sobre lo que hayamos visto y tocado de una manera experimental". Combatió siempre las ideas fantásticas engendradas sólo por la imaginación y es así que explicó que los gases son un estado de la materia y no espíritus, y que los metales no son transmutables como lo creían y lo siguieron creyendo hasta fines de la Edad Media los alquimistas. Es por su concepto científico más que por sus descubrimientos, que pertenecen a la historia de la química, que Geber nos interesa en este estudio.

Hizo sin embargo, una teoría general de la química, en que se apartó completamente de su método, pues es puramente imaginativa.

Es en ella que emite la opinión de que todos los metales están compuestos por tres elementos hipotéticos comparables por sus propiedades al mercurio, al azufre y al arsénico.

---

(1) Se atribuye actualmente parte de su obra a su predecesor ABU-MUSA-JABIR, cuyos escritos no fueron traducidos al latín. (DAMPIER, "Historia de la Ciencia", pág. 94).

Después de Geber, los dos químicos árabes que más se destacaron fueron los médicos RASES (840-923) que descubrió el ácido sulfúrico e introdujo en la medicina el empleo de remedios químicos, y AVICENA (980-1037) llamado por sus compatriotas "El príncipe de los médicos", que negó el atomismo, defendiendo la divisibilidad infinita de la materia.

AL HAZEN
(980-1038)

AL HAZEN o HASSAN BEN HAITHEM, nació en Basora en 980 y murió en El Cairo en 1038. Vivió en España y en Egipto, escribió un tratado de geometría y uno de óptica, que es el último que sobre esta ciencia publicaran los árabes.

En esta obra, Al Hazen estudia la reflexión en los espejos planos, curvos, cóncavos, convexos, cilíndricos, esféricos, cónicos y parabólicos; corrige algunas deducciones de PTOLEMEO sobre la refracción y explica muy claramente que, como la densidad atmosférica decrece con la altura, un rayo luminoso que penetre oblicuamente en la atmósfera sigue una trayectoria curvilínea que nos hace apreciar erróneamente la posición de los astros en su orto y en su ocaso. Evalúa en cien kilómetros la altura de la atmósfera y deduce de su acción reflectora una hermosa teoría del crepúsculo. En la teoría de la visión se opone a la que defendía PTOLEMEO según la cual los rayos emanan de los ojos. Describe en fin, perfectamente, las membranas y los tres líquidos del ojo.

Al Hazen es casi el único físico árabe cuyos trabajos pueden interesarnos y así mismo su obra se limita a algunas correcciones en las medidas y teorías ópticas de PTOLEMEO.

IBN GABIROL
(1021-1070)

IBN GABIROL nació en Málaga en el año 1021 y murió en 1058 o 1070.

Gabirol (o Gebirol) fué poeta y filósofo y se dice que ha hecho volver a Europa la filosofía antigua, que había sido arrojada a Asia. Fué sin duda, el hombre más grande de su siglo; fué el único filósofo que en su época tuviera ideas originales y no siguiera ciegamente los preceptos de ARISTOTELES. En física, fué el teórico de mayor crédito de su tiempo; pero sufrió tan crueles persecuciones de parte de la Iglesia, que muchas veces tuvo el deseo de abandonar su patria y refugiarse en Africa.

AL KHAZINI
(1120-?)

AL KHAZINI nació en 1120. Observó que los cuerpos pierden en peso al alejarse de la superficie de la tierra; pero incurrió en el error de creer que esa pérdida de peso es proporcional a la distancia, en vez de serlo a su cuadrado, como lo demostró NEWTON. Observó también que la densidad del agua varìa cuando cambia de temperatura, pero no llegó sin embargo a darse cuenta de la dilatación. Es gracias a esa observación que los árabes pudieron medir la temperatura de los líquidos por medio del aerómetro que ya era conocido. (Véase ARQUIMEDES).

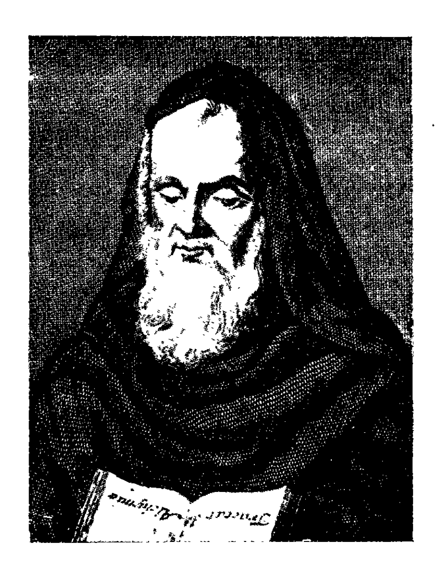
ROGERIO BACON
(1214-1294)

ROGERIO BACON nació en Ilchester en 1214 y murió en Oxford en 1294. Fué, pues, contemporáneo de Alberto el Grande y de Tomás de Aquino.

Estudió en Oxford, luego en París, donde recibió el título de doctor en teología. Volvió entonces a Oxford, entró en la orden de los Franciscanos y empezó a enseñar.

Estudió las lenguas, el latín, el griego, el hebreo y el árabe, que le permitieron consultar todas las mejores obras de matemáticas, astronomía, física y química.

Su gran erudición unida a un genio inventivo e independiente, le valieron el apodo de "Doctor Admirable", pero crearon a su alrededor sordas envidias. Bacon fué acusado de magia, de tener relaciones con el demonio, y sólo debió a su amistad con el Papa Clemente IV (Papa de 1264 a 1268) el no haber sido condenado.



ROGERIO BACON

Cuando, en 1277, Nicolás III, enemigo personal de Bacon, llegó al pontificado, nuevas acusaciones se formularon, y el Papa, recordando viejos rencores, lo hizo condenar a prisión perpetua por escribir "cosas nuevas, peligrosas y sospechosas".

El sabio inglés pasó doce años en esa ignominiosa reclusión y sólo después de ese tiempo la libertad le fué devuelta, libertad que poco pudo aprovechar, pues su cuerpo debilitado por el largo sufrimiento resistió pocos meses a la muerte.

¡Cuánto tuvo que haber sufrido aquel amante de la ciencia para pronunciar al fin de su vida, esta frase amarga: "Me arrepiento de haberme dado tanta pena para alumbrar a los hombres"!

Se ha considerado a veces a Bacon como fundador del método científico moderno, restando pues, en algo, la gloria de GALILEO, que merece indudablemente este título de honor. No es sin razón que se comete esta injusticia, pues Bacon, en una época en que todo se demostraba por medio de la existencia de facultades ocultas de la materia, sólo creía en la experiencia y se expresaba así al respecto: "La ciencia experimental no recibe la verdad de las manos de ciencias superiores, pues ella es el ama de las otras ciencias, que no son más que sus sirvientas". Pero esto no basta para afirmar que ha "fundado" el método experimental, sino que ha "creído" en el valor de la experiencia como creyeron también en él algunos griegos y árabes. GALILEO no se ha limitado a esto: ha edificado sobre la experiencia una lógica nueva, un método filosófico y científico completo.

Bacon fué uno de los primeros en reclamar la reforma del calendario Juliano. Ya hemos visto (1) que Julio César había determinado al año una duración de 365 ¼ días. Esta determinación, muy aproximada, no era exacta y la suma de los errores anuales alcanzaba a un día en 130 años. Bacon propuso suprimir un día cada vez que se llegara a ese término; pero esta reforma no fué hecha sino tres siglos más tarde por el Papa Gregorio, como lo veremos más adelante.

Bacon previó muchos inventos; se cita a menudo entre los precursores de la aviación por haber dicho que "no sería difícil construir una máquina con cuya ayuda el hombre podría moverse en el aire con tanta facilidad como un pájaro".

En óptica, fué el primero en indicar el foco de un espejo esférico cóncavo; encontró la aberración de esfericidad en los espejos esféricos; y algunas de sus ideas sobre la re-

(1) Véase SOSIGENES.

flexión, la refracción, el arco iris y la visión, extrañan pues parecen haber sido escritas en nuestra época. DUHEM ha demostrado que Bacon inventó o conocía ya la cámara oscura, atribuida generalmente a LEONARDO DE VINCI.

Ha previsto con singular precisión los microscopios y los anteojos, expresándose así al respecto: "Con un ob-
" jetivo en forma de porción de esfera, el hombre ve
" mucho mejor las letras, que le parecen así mucho
" más grandes. Podríamos tallar y disponer vidrios de
" tal modo que los rayos luminosos sean cortados y re-
" fractados en la dirección que queramos, de modo que
" podamos ver así a un objeto cercano o alejado, bajo
" cualquier ángulo y de esta manera a la más increíble
" distancia, llegaremos a leer las letras más pequeñas,
" y a contar los granos de la arena..."

En sus obras se encuentra también una fórmula para preparar la pólvora de cañón; pero sería incorrecto atribuirle este invento, pues parece definitivamente probado que la preparación de la pólvora y el conocimiento del salitre nos han venido de Oriente. Tan erróneamente como a Bacon se ha atribuído el invento de la pólvora a SCHWARTZ, a BALLSTAEDT y a muchos otros.

Bacon, algo alquimista, pues creía en la composición única de todos los metales, tuvo cierta influencia sobre el progreso de la química.

Expresó ideas muy exactas acerca del calor y, en su "Opus Majus", su obra principal, considera el calor como el resultado del movimiento interno de la materia y aun "de los esfuerzos contradictorios de las partículas". En esa obra se encuentra también la expresión profética, si no el concepto claro, de "atracción del centro de la tierra".

LULIO
(1235-1315)

RAIMUNDO LULIO nació en Palma de Mallorca en 1235 y murió en Bujía en 1315.

Raimundo Lulio ha escrito obras de física, de química, de medicina y de teología. En física, esas obras no han tenido influencia alguna y apenas merecen ser citadas por encontrarse en ellas algunas referencias sobre la construcción de los primeros espejos azogados con plomo.

En química, se le atribuyen muchos descubrimientos, pero el único que ha sido suficientemente comprobado es el del ácido nítrico alcoholizado.

La vida de este sabio, guiada siempre por una fe ciega en el derecho de la ciencia, tiene un gran valor histórico y moral. Descendiente de belgas establecidos en la isla de Mallorca, Lulio llegó a ser gran senescal del rey de Aragón; pero, entusiasmado por el estudio de las ciencias, repudió los honores de su puesto y abandonó su hogar, para llevar vida de ermitaño en las montañas.

Después de haber pasado allí varios años sumido en el estudio de las lenguas y de las obras extranjeras, descendió de su retiro para predicar a los cristianos nuevas cruzadas, pero no cruzadas sangrientas: cruzadas verdaderamente santas, llevando como única arma su ciencia y venciendo a los herejes enemigos convenciéndolos de sus errores. Inútil decir que semejantes teorías no fueron recibidas con el mismo entusiasmo que las que predicaban en esa época los caballeros del Templo, los Hospitaleros de San Juan y los Caballeros Teutónicos, monjes cubiertos de hierro.

Lulio emprendió entonces solo su cruzada, pero fueron vanos sus esfuerzos. Los infieles de Africa no se dejaron convencer ni por las doctas enseñanzas de Lulio ni aun por sus referencias a la ciencia árabe. Durante muchos años sufrió con resignación la burla y los demás crueles suplicios, hasta su muerte a la edad de 80 años. Su cuerpo fué llevado a las islas mallorquinas por unos marineros genoveses, que lo habían encontrado en Bujía, lapidado. Raimundo Lulio fué beatificado por la Iglesia.

ABANO
(1250-1315)

PEDRO ABANO nació cerca de Padua en 1250 y murió en 1315.

Médico, astrólogo y alquimista, profesor de medicina, erudito y gran admirador de la ciencia árabe, Abano tuvo, como BACON, un concepto casi moderno de la ciencia experimental.

Fué también perseguido por la Iglesia, y la Inquisición había resuelto entregarlo a la hoguera cuando le sobrevino la muerte.

El tribunal supremo ordenó entonces quemar su cuerpo; pero un amigo pudo exhumarlo y ocultarlo, de modo que el verdugo sólo entregó a las llamas una imagen del ilustre sabio.

VITELLO

Este monje de origen polaco, vivió en el siglo XIII y fué un matemático y físico de valor. Dejó un tratado de óptica que es el primero que habla de la refracción en Europa, después de la invasión de los Bárbaros, pero que contiene poco o nada que no haya sido establecido anteriormente por PTOLEMEO y AL HAZEN. Debe mencionarse, sin embargo, su explicación de la formación del arco iris por la refracción de la luz en las gotas de agua de la lluvia o de las nubes, pero sin establecer el ángulo de la altura en que se forma el arco.

TIEMPOS MODERNOS

(Hasta el Siglo XIX)

Aspecto General

No se puede determinar en qué fecha, ni debido a qué hecho, la ciencia, que vegetaba durante la Edad Media por falta de método, falta de espíritu y de interés científicos, empezó una marcha triunfal de progreso, marcha que desde entonces no se ha detenido, sino que parece apresurar cada vez más sus pasos.

Muchos son los hechos que son considerados por los unos como causas, por los otros como primeros efectos del Renacimiento Científico. Entre ellos se destacan: el invento de la imprenta que permitió difundir y vulgarizar rápidamente las obras científicas y las ideas avanzadas; los inmensos descubrimientos geográficos que COLON provocó; la reforma religiosa; el estudio de los antiguos; la toma de Constantinopla, que marcó el fin del Imperio Bizantino y, como resultado, la huída de los últimos sabios de ese Imperio a Italia; la valiente lucha emprendida a costo de grandes sacrificios personales por hombres de ciencia contra la filosofía de ARISTOTELES, sostenida por los poderes religiosos y académicos; los trabajos, en fin, de genios como VINCI, REGIOMONTANO, PARACELSO, MOROLICO, TARTAGLIA, VIELE, COPERNICO, CARDANO, VESALE, RAMO, TYCHO-BRAHE, STEVENS, FRANCISCO BACON, KEPLERO, HARVEY, GALILEO y muchos otros.

Este Renacimiento, esta primavera después del invierno letárgico de la Edad Media, no fué sin embargo aceptado por todos con entusiasmo, pues la religión, o más bien dicho el "pequeño clero", persistía en oponerse al progreso y creía ver en la ciencia una enemiga temible. El temor a las persecusiones, la influencia tenebrosa de la Inquisición en toda Europa, se opusieron sin duda al Renacimiento, pero no pudieron detenerlo.

Las crueles represalias no fueron las únicas armas de que se sirvió la Iglesia. Una marcada tendencia hacia el estudio de los antiguos llevó a muchos sabios a dedicarse a la traducción de sus obras y sobre todo de las de ARISTOTELES. La Iglesia se opuso al principio a su difusión; pero cuando sintió que la ciencia se imponía, victoriosa de todos sus esfuerzos, y la amenazaba cada vez más en su dominio absoluto de los espíritus, aprobó las teorías de ARISTOTELES, que podían conciliarse mejor que muchas otras con las creencias religiosas, las defendió acerbamente, y, sirviéndose de ellas como de un arma temible, castigó cruelmente a los que se atrevieron a discutirlas.

Esta influencia religiosa se hizo sentir menos en Italia que en otros países y a esto se debe sin duda el mayor brillo que tuvieron en ella las ciencias, las artes y las letras durante los primeros siglos de la vida intelectual de Europa Occidental.

La grave inculpación de resistencia al desarrollo científico no puede extenderse indistintamente a todos los miembros de la Iglesia, ni tal vez a la Iglesia en sí. Sería difícil, pero interesante, establecer hasta qué punto algunos espíritus superiores que pertenecieron a ella y aportaron a la ciencia su benéfica ayuda, atenúan esa falta. Entre estos últimos se destacaron tres Papas: NICOLAS V, JULIO II y LEON X.

NICOLAS V, cuyo pontificado duró de 1447 a 1455, acogió a los sabios expulsados de Constantinopla, fundó la Biblioteca Vaticana, la abrió a todos los intelectuales y coleccionó en ella millares de manuscritos que pudo hacer reunir en Oriente y en Europa por una legión de sabios. JULIO II, que fué Papa de 1503 a 1513, embelleció grande-

mente a Roma, protegió las artes y las letras y llamó en 1503 a Miguel Angel y en 1508 a Rafael, para adornar el Vaticano. JUAN DE MEDICIS fué Papa de 1513 a 1521, llevando el nombre de LEON X. Restauró la universidad de Roma, fundó un colegio para la enseñanza de las lenguas, se rodeó de sabios, escritores y artistas, abrió academias e imprentas y protegió incesantemente las artes, las ciencias y las letras. En honor a sus méritos se suele dar su nombre al siglo XVI, el de mayor gloria del Renacimiento italiano.

Si un estudio imparcial de la influencia de la religión sobre la ciencia se hiciera, sería menester poner al lado de esos nombres los de todos los sabios, que, como COPERNICO, MERSENNE, GASSENDI, DE RHEITA, RICCIOLI, TACQUET, LEOPOLDO DE MEDICIS, GRIMALDI, BOYLE y otros tantos fueron eclesiásticos; y se tendrían que citar hechos como la ayuda que GUTENBERG, en la miseria, recibió de los Arzobispos de Estrasburgo y de Maguncia, o la inútil lucha de muchos miembros de la Iglesia para salvar a GALILEO de la humillación que los nuevos peripatéticos y los monjes reunidos le hicieron sufrir. Frente a esta apología de algunos religiosos fervientes se deberían levantar entonces las acusaciones; se debería decir que Pablo V condenó las obras de COPERNICO; que ROGER BACON fué injustamente perseguido; que PALISSY murió en la Bastilla donde los jefes de la Liga lo encerraron; que VESALE quemó sus obras de anatomía por miedo a las amenazas religiosas; que RAMO, que con tanto valor señaló los errores de Aristóteles, fué degollado en la San Bartolomé ; que el astrónomo belga MEULABEECKE (Gante 1561-1632) tuvo que huir de las persecusiones del rey católico Felipe II; que GIORDANO BRUNO fué quemado en Roma por haber criticado a Aristóteles; que GALILEO fué perseguido y humillado por su saber; que VAN HELMONT, el gran químico. inventor tal vez del termómetro, él, que toda su vida, a pesar de ser rico y noble, se sacrificó como médico de los pobres y murió víctima de su altruismo, fué acusado por la Inquisición, encarcelado durante cuatro años y declarado inocente dos años después de su muerte; que DESCARTES no se atre-

vió a publicar toda su enciclopedia "Los Mundos" por temor a la Iglesia. En fin, todos esos hechos demuestran que parte del clero quería oponerse al Renacimiento científico europeo.

SIGLO XV.—El siglo XV no ha sido todavía marcado por grandes progresos en física misma y puede ser considerado como el siglo de preparación al Renacimiento de esta ciencia.

Este siglo, sin embargo, ha dado hombres como GUTENBERG, COLON y VINCI, que no pueden ser apartados de la historia de la física, pues a pesar de no haber dirigido sus luces hacia esta ciencia misma, su influencia sobre ella ha sido enorme.

SIGLO XVI.—El siglo XVI fué fecundo para la ciencia y se distingue por la forma evidente en que se perfilan el espíritu científico moderno y la lucha contra los prejuicios de la Edad Media. La propagación de la imprenta, los nuevos horizontes abiertos por los grandes descubrimientos geográficos, la independencia espiritual decretada por la Reforma, el estímulo cultural engendrado por el uso de los idiomas nacionales, colaboraron a dar fuerzas nuevas al movimiento intelectual del siglo XVI. COPERNICO propuso su explicación del sistema del mundo, que provocó una revolución bienhechora, no sólo en astronomía, sino en todos los espíritus dedicados al estudio. TYCHO BRAHE y otros astrónomos acumularon observaciones y perfeccionaron los instrumentos. La reforma del calendario es otro hecho importante del siglo, que hizo comprender por todos el valor práctico de la ciencia astronómica. En Matemáticas, los italianos MOROLICO, CARDANO, FERRARI, TARTAGLIA, el belga STEVENS y los franceses RAMO y sobre todo VIETE, ampliaron extraordinariamente los conocimientos, establecieron lazos entre las distintas ramas de la ciencia matemática y descubrieron nuevos campos de in-

vestigación. Las Ciencias Naturales y especialmente la anatomía humana con EUSTAQUIO, FALOPPE y VESALE, hicieron progresos notables. La Química teórica, aunque quedara confundida con la alquimia, hizo grandes adelantos en sus aplicaciones pues AGRICOLA fundó la Metalurgía, PARACELSO la Quimiatría y BERNARDO PALISSY y PORTA aplicaron la química a la industria y las artes. Para la Física, veremos en los estudios especiales de cada sabio, como, en el siglo XVI, PORTA fundó la primera academia científica y, en su enciclopédica "Magia", volvió a tratar con relativo acierto muchos problemas de interés; como MOROLICO volvió a estudiar toda la Optica de la antigüedad, agregándole conceptos propios de valor; como BENEDETTI y TARTAGLIA prepararon el renacimiento de la mecánica que habían de cumplir STEVENS y GALILEO a fines del XVI y principios del XVII; como, en fin, GILBERT reunió hacia fines del siglo una información tan amplia sobre magnetismo y electricidad que poco o nada pudo serle agregado durante un centenar de años.

SIGLO XVII. — El siglo XVII fué espléndidamente edificado sobre los cimientos del siglo anterior, y todo su valor político y militar, no tiene para la historia general de la humanidad el valor de sus progresos científicos. Es en el siglo XVII que fué establecida la ciencia moderna gracias a tres genios de características muy distintas y valores muy diferentes: GALILEO, KEPLERO y DESCARTES, a los cuales suele agregarse el nombre de FRANCISCO BACON. GALILEO, el observador minucioso y metódico, el gran renovador de la astronomía y de la mecánica, creó con su sujeción absoluta al hecho y a la experiencia, el método experimental moderno. KEPLERO, genio vasto, arriesgado creador de grandes verdades y de grandes errores, superior en talento a GALILEO mismo, supo basarse en el hecho para imaginar leyes universales, fuerte en su derecho del libre examen. DESCARTES, el gran filósofo, geómetra y físico, sistematizó el razonamiento puro, desprendido del hecho y de la ex-

periencia, con el método preciso de la geometría. Y, ya que asi lo quieren los ingleses, deseosos ellos también, — que tanto aportaron a las ciencias experimentales — de tener como Italia, Alemania y Francia uno de los fundadores de la ciencia moderna, citaremos a FRANCISCO BACON que "disertó" sabiamente acerca de los valores de la ciencia experimental pero no cumplió nunca con sus sabias enseñanzas.

A esa trilogía inicial: GALILEO, KEPLERO, DESCARTES, debía seguir otra trilogía no menos gloriosa formada por LEIBNITZ, NEWTON y HUYGHENS, cuyas obras ocupan lugares céntricos en cuatro progresos de primera magnitud: la creación de la Matemática Nueva, el desarrollo de la Mecánica Racional, el establecimiento de la Atracción Universal y la fundación de la Optica Matemática.

El siglo XVII se caracterizó además por las estrechas relaciones entre los sabios de toda Europa y, como resultado de ello, por la creación de las academias y sociedades científicas que dieron extraordinario impulso a las ciencias, y que tomaron bien pronto a su cargo la dirección activa y ágil del movimiento científico, dirección que antes incumbía más bien a las Universidades, siempre más lentas en la adopción de nuevos rumbos. Otro resultado de ese intercambio entre sabios fué la creación de la prensa científica, que inició DIONISIO DE SALLO (1626-1669), gracias a la protección de COLBERT, con la publicación del "Periódico de los Sabios" que pasó luego al Estado en 1701 (1). Este ejemplo fué pronto seguido en Alemania donde se publicó "Acta Eruditorum" fundado en Leipzig (1682) por OTTO MENCKE (1644-1707), y en Holanda donde vieron la luz varias publicaciones periodísticas científicas.

Con sólo mirar los cuadros sincrónicos que se encuentran al final de esta obra, vemos como se acrecentaron los progresos de la física en ese siglo. Otro tanto ocurría con las otras ciencias y este aumento progresivo de la producción

(1) "Histoire du Journal des Savants" MORGAN (Presses Universitaires. París 1929).

científica — aumento en la cantidad tanto como en la imporcia de los descubrimientos — no ha cesado desde entonces.

En Astronomía, COPERNICO, el creador del sistema heliocéntrico, y TYCHO BRAHE, el paciente acumulador de observaciones, tuvieron por herederos a KEPLERO y a GALILEO quienes, con sus grandes principios el primero, y sus magníficas observaciones gracias al uso y al perfeccionamiento del anteojo el segundo, descubrieron día tras día nuevos y extraordinarios misterios. Siguieron su ejemplo una legión de astrónomos como GASSENDI, CAVALIERI, ZUCCHI, RICCIOLI, GRIMALDI, HEVELIO, CASSINI, PICARD, AUZOUT, ROEMER, FLAMSTEED, HALLEY, que prepararon el camino a NEWTON.

Los gobiernos protegieron ampliamente el desarrollo de la astronomía pues establecieron Observatorios Nacionales con instrumentos de gran precisión, donde los sabios podían hacer investigaciones más amplias y perfectas que en observatorios particulares o propios. Colbert fué el ministro que tomó esta iniciativa cuando decretó la instalación del Observatorio de París (1667) de acuerdo con los planos de D. CASSINI e hizo venir a París, CASSINI de Italia; HUYGHENS de Holanda, ROEMER de Dinamarca, astrónomos con los cuales colaboró eficazmente el francés PICARD. Carlos II siguió de inmediato el ejemplo de Colbert y encargó a FLAMSTEED y HALLEY de la instalación del Observatorio de Greenwich, aunque es curioso observar, en este caso, que los grandes descubrimientos astronómicos que glorificaron a Inglaterra en el siglo siguiente no fueron realizados en dicho observatorio.

El siglo XVII es el siglo de la aparición de la Matemática Nueva: con el hallazgo de los logaritmos por NAPIER y BURGI; con el Cálculo de los Infinitésimos, resultado de los esfuerzos de muchos matemáticos entre los cuales debemos recordar a KEPLERO, CAVALIERI, FERMAT, ROBERVAL, DESCARTES, WALLIS, JAIME GREGORY, TORRICELLI, PASCAL y BARROW; con el Cálculo Diferencial e Integral, en cuya edificación intervinieron: MENGOLI, MERCATOR, dos grandes genios rivales: NEWTON

y LEIBNITZ, JACOBO y JUAN BERNOULLI, y de L'HOSPITAL; con la Geometría Analítica, creación simultánea de FERMAT y de DESCARTES; con la Geometría Proyectiva iniciada por DESARGUES, y en fin con grandes progresos del Algebra, de la Geometría propiamente dicha y de la Trigonometría.

Las Ciencias Naturales hicieron progresos enormes con la extraordinaria obra fisiológica de HARVEY, que comprende el descubrimiento de la circulación de la sangre y la generación de los mamíferos, y con las obras inmortales de MALPIGHI, RUYSCH, LEUWENHOECK, BOERHAAVE, SWAMERDAM, STENON, GRAAF, MAYOW, WILLIS y de grandes médicos y botánicos.

La Química, en el siglo XVII, no se separaba aún en forma definitiva de la Alquimia, pero siguieron agregándose grandes descubrimientos de hechos científicos o industriales gracias a las obras separadas de VAN HELMONT, BOYLE, FLUDD, KUNCKEL, LEMERY, GLAUBER, etc.

La Física — como lo veremos en el estudio detallado de la vida y la obra de los sabios — se ha desarrollado en casi todos los sentidos en ese fecundo siglo XVII, pero dos de sus capítulos adquirieron particular importancia: la mecánica y la óptica.

Es casi imposible hacer una síntesis de ese florecimiento de la física experimental tan acertadamente practicada primero en Italia, en la Academia del Cimento, y luego continuada en Francia y en Inglaterra donde trabajaban con ardor sabios como BOYLE, PASCAL, ROBERVAL, MARIOTTE, HOOKE, GREGORY, PAPIN, VARIGNON, BERNOULLI y sobre todo DESCARTES, HUYGHENS y NEWTON, que dieron a sus principales Academias, la "Royal Society" de Londres y la "Académie des Sciences" de París, un brillo hasta entonces inalcanzado.

La Mecánica, que, ya a fines del siglo XVI con STEVIN, BENEDETTI y GALILEO, había reiniciado su marcha, detenida después de la obra de ARQUIMEDES y HERON, fué rica en acontecimientos en el siglo XVII: KEPLERO, GALILEO, DESCARTES, HUYGHENS y

NEWTON aclararon y precisaron notablemente los conceptos fundamentales de la mecánica, arrancándolos poco a poco a la masa confusa de términos vagos con que solían confundirse. KEPLERO y GALILEO, analizaron el movimiento con criterio nuevo y con la fuerza del método experimental, y TORRICELLI, HUYGHENS y NEWTON ampliaron su obra. WALLIS, WREN y HUYGHENS descubrieron las leyes del choque. HUYGHENS amplió admirablemente el estudio de GALILEO sobre el péndulo.

Desde HERON, se había abandonado casi la idea de buscar en la expansión del vapor una fuente de energía. CAUSS, PAPIN y SAVERY, a fines del siglo XVII, reiniciaron ese estudio que había de culminar en el siglo siguiente con el invento de la máquina de vapor.

En Optica, DESCARTES demostró la ley de la refracción descubierta por SNELLIUS; GRIMALDI descubrió la difracción; la doble refracción observada por BARTHOLIN fué estudiada por HUYGHENS, que enunció sus leyes; el mismo HUYGHENS estableció la teoría de las ondulaciones en oposición a la teoría de las emisiones de NEWTON; este último hizo el análisis de la luz solar; ROEMER midió la velocidad de la luz; LIPPERSHEY inventó el anteojo, JANSEN el microscopio, GREGORY el telescopio.

En Neumática, conceptos exactos sobre el aire y la presión atmosférica sucedieron por fin a las vaguedades e incertidumbres de tantos siglos pasados, gracias a TORRICELLI el inventor del barómetro y a PASCAL, mientras que la máquina neumática de GUERICKE permitía hacer múltiples experiencias en el vacío y que se establecían leyes de la importancia de la ley de BOYLE - MARIOTTE.

La Hidrostática, después de STEVIN, logró aclarar sus grandes principios con DESCARTES y con PASCAL. GUERICKE reinició los experimentos de electricidad estática ya realizados por GILBERT y que tanta importancia adquirieron en el siglo siguiente.

La Acústica inició, con MERSENNE y con SAUVEUR, su período científico y, como ciencia, influyó sobre el arte musical.

Gracias al invento del termómetro, se pudo realizar el estudio metódico y experimental del calor.

Esta lista, que sólo abarca los más grandes progresos de la Física en el siglo XVII, no puede dar sino una débil idea de la extraordinaria actividad de la época.

SIGLO XVIII. — Esta extraordinaria actividad del siglo XVII no fué una culminación víspera de una nueva detención de progresos, sino la verdadera iniciación, el gran impulso de la asombrosa producción científica que caracteriza los tiempos modernos y que, por falta de elementos, no había podido aún alcanzar tan hermoso desarrollo en el período de organización correspondiente a los siglos XV y XVI.

El aspecto científico del siglo XVIII tiene muchas relaciones con el aspecto filosófico y aún literario, cultural y social, acerca de los cuales sería ocioso detenernos aquí.

Es que las ciencias que, desde el siglo XVI, parecían haberse repartido en sectores sin relaciones entre sí, tendieron a unirse, en el siglo XVIII, ya con el lazo del análisis matemático que todo lo pretende abarcar, ya por el anhelo de descubrir grandes principios generales que sean, a la vez, base y concentración de los conocimientos. Es así que en ese siglo de filosofía, el sabio se hizo llamar filósofo y volvió a ser enciclopédico, no temiendo el matemático extender sus investigaciones no sólo a la astronomía y a la física sino aún a la sociología y a la moral. Y viceversa, vemos a Voltaire ocuparse de ciencia y defender las teorías newtonianas contra el criterio cartesiano; vemos a Diderot iniciar una enciclopedia de conocimientos, técnicos; o vemos a Rousseau — como un Sócrates moderno — mostrar los peligros sociales de la ciencia y del progreso científico, y a Kant marcar límites a la influencia científica. En Ciencia en fin, se observa la misma transición, la misma evolución espiritual que tan bien se ha estudiado en literatura y en sociología entre el siglo XVII, siglo de clasicismo y de respe-

to al orden establecido, al dogma y al poder, y el siglo XVIII, siglo de enciclopedismo filosófico y de emancipación.

En el siglo anterior, hemos observado que las academias, la prensa científica y los observatorios colaboraron al progreso de la ciencia. En el siglo XVIII, debe agregarse una nueva colaboración aportada por los gobiernos: la organización de misiones científicas. Veremos así, al tratar de los sabios correspondientes, como CLAIRAUT, BOUGUER, LA CONDAMINE y GODIN fueron a Perú y MAUPERTUIS, CAMUS, CLAIRAUT a Laponia para medir el grado de meridiano. Así mismo, fueron LALANDE a Berlín y LA CAILLE al Cabo de Buena Esperanza para medir la distancia de la Luna, y sabios de varios países a distintos puntos del globo para observar las fases de Venus para el cálculo de la distancia del Sol.

En Matemáticas, asistimos a la expansión a todas las ciencias de la Matemática Nueva, creada en el siglo anterior. En Alemania, floreció la escuela de LEIBNITZ, pero debe observarse que, a pesar de haber sido fundada en 1700 la Academia de Ciencias de Berlín por Federico I de Prusia y de haberse empeñado más aún Federico II en su desarrollo, Alemania sufrió una crisis de matemáticos, y, en esa Academia, los herederos de LEIBNITZ, que continuaban y ampliaban su obra, fueron EULER de Basilea, LAMBERT de Mulhouse y LAGRANGE de Turín. Ellos aplicaron el cálculo infinitesimal a toda la ciencia y especialmente a la mecánica, la física y la mecánica celeste, encarando los problemas desde el punto de vista de las matemáticas puras, como lo hiciera LAGRANGE en su "Mecánica Analítica" en que, tomando por base el principio de las velocidades virtuales, dedujo de éste toda la mecánica "como versos de un poema científico".

En las mismas condiciones que la Academia de Berlín se encontraba la de San Petersburgo, y es así que vemos esas dos sociedades disputarse a los matemáticos suizos o franceses. Entre los primeros, y de la célebre escuela de Basilea, deben recordarse los BERNOULLI: tres hermanos, JACOBO, JUAN I y NICOLAS I, y la descendencia de Juan: sus hijos, NICOLAS II, JUAN II y DANIEL, y

sus nietos, JACOBO II y JUAN III, todos dignos de ese apellido glorioso en los anales de la ciencia.

En Inglaterra, también se proseguía el estudio de la Matemática Nueva, ya siguiendo a NEWTON ya a LEIBNITZ, pero en forma independiente de los matemáticos del continente cuyo nivel no lograron siempre alcanzar. Distinguiéronse allí TAYLOR, MAC LAURIN, SIMSON, STEWART...

En Francia, actuaban grandes matemáticos: CLAIRAUT, D'ALEMBERT y LAPLACE. El primero afianzó la obra astronómica de NEWTON demostrando matemáticamente la hipótesis del aplastamiento de la Tierra de acuerdo con la medida del grado de meridiano a la cual colaboró, resolviendo el problema de los tres cuerpos (Sol, Tierra y Luna) para fortalecer la teoría de la Atracción Universal con la teoría de la Luna, y predijo con exactitud la aparición del cometa de HALLEY. D'ALEMBERT, que encontró simultáneamente con CLAIRAUT la solución del problema de los tres cuerpos, estableció, basándose en el principio que lleva su nombre, una exposición completa de Dinámica, de Hidrostática, de Hidrodinámica, y la teoría de las cuerdas vibrantes. LAPLACE, en su amplia obra analítica, reinició las obras de sus ilustres predecesores y las amplió y perfeccionó genialmente en el terreno de las aplicaciones astronómicas y físicas... Y es esta la característica de las matemáticas del siglo XVIII: la culminación de la Matemática Nueva del siglo XVII llevada al vasto terreno de las aplicaciones.

En el siglo XVIII, la Astronomía fué cultivada en Inglaterra con más éxito que en Francia y Alemania y mucho más que en Italia donde decaía el interés por la ciencia.

A FLAMSTEED y HALLEY sucedieron en Inglaterra BRADLEY y W. HERSCHEL. El primero, entre otras muchas obras de mérito, descubrió la aberración de la luz y estableció las leyes del movimiento de varias estrellas, leyes que permitieron observar la nutación. W. HERSCHEL es justamente considerado como uno de los fundadores de la astronomía moderna. Con el telescopio de reflexión, a cuyo perfeccionamiento colaboró, descubrió Ura-

no (1781). Su hijo, JUAN HERSCHEL, fué también un gran astrónomo. A esos dos nombres deben agregarse el de DOLLOND, el inventor de las lentes acromáticas, el de MASKELYNE, célebre por los "Almanaques Náuticos" que publicó durante cuarenta y cinco años, y por su determinación de la densidad de la Tierra, y el de HARRISON, quien construyó cronómetros de una extraordinaria precisión, auxiliares valiosos del astrónomo.

Alemania tuvo dos grandes astrónomos: BODE, director del Observatorio de Berlín, cuya ley sobre las distancias de los planetas al Sol es bien conocida, y TOBIAS MAYER, del Observatorio de Gotinga, que se dedicó especialmente a la teoría de la Luna.

Francia tuvo un núcleo de astrónomos brillantes que se interesaron especialmente en la medida de la Tierra y en el establecimiento de la mecánica celeste según la ley de NEWTON (como acabamos de verlo al mencionar a CLAIRAUT, en Matemáticas), pero fué LAPLACE quien llevó a su punto culminante el estudio analítico de la mecánica celeste, de trascendental importancia.

Los progresos de la Química ocupan en el siglo XVIII, contrariamente a lo que pasara en los siglos anteriores, un lugar de verdadera preferencia en la evolución de la ciencia. Es que fué en el siglo XVIII que la Química se volvió una verdadera ciencia en lugar de un conjunto de hechos empíricos, y esa fundación de la Química Moderna se debió sin duda a LAVOISIER, a fines del siglo, aunque no exclusivamente a Lavoisier.

En Alemania, debe señalarse especialmente a STAHL, que atribuyó toda combustión a una combinación con un principio del fuego: "el flogisto". Esta curiosa hipótesis del flogisto fué considerada como una creación genial. KANT le atribuyó igual importancia que a la dinámica de GALILEO. STAHL fundó una escuela numerosa en grandes químicos, escuela que se opuso a la reforma propuesta por LAVOISIER y detuvo, pues, en algo, el progreso científico.

En Inglaterra, químicos de valer se dedicaron especialmente al estudio químico de los gases (Química Neu-

mática) y entre ellos deben recordarse: HALES, que recogió los gases de la combustión; BLACK, que estudió el "aire fijo" (ácido carbónico), y PRIESTLEY, que tan grandes progresos hizo hacer a la química con sus investigaciones sobre el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno, a pesar de considerar a este último como "aire desflogistado".

Suecia, donde acababan de ser fundadas las Academias de Upsal y de Estocolmo, colaboró mucho al progreso de la química con las investigaciones prácticas de BRANDT, y con BERGMANN, el gran teórico, precursor de Lavoisier pero cuya celebridad quedó casi eclipsada por la de su discípulo, el excelso químico SCHEELE, cuyos grandes descubrimientos, entre los cuales figura el análisis del aire, le dan una merecida gloria a pesar de haber sido partidario del flogisto.

En Francia, ROUELLE tuvo por discípulo a LAVOISIER, y éste, con su claro concepto de la causa del aumento de peso provocado por la calcinación (hecho observado ya en el siglo XVII por JUAN REY y luego por BOYLE y MAYOW) y con un juicioso empleo de la balanza en todas las operaciones químicas, fundó los grandes principios de la química moderna, diferenció el elemento del cuerpo compuesto y dió las bases del análisis. Sus continuadores, BERTHOLLET, GUYTON DE MORVEAU, FOURCROY, aseguraron su triunfo con la nomenclatura química cuyo uso perdura.

En las Ciencias Naturales se puede observar también con claridad el espíritu científico del siglo XVIII y sobre todo el afán de ordenación y de sistematización de descubrimientos nuevos debidos a una legión de observadores. Y en esa obra se destacan: LINNEO y BUFFON y los franceses ADANSON y BERNARDO y ANTONIO JUSSIEU. Otros nombres ilustres recuerdan progresos fundamentales de las ciencias naturales: HAUY, precedido por ROME DE L'ISLE, creó la cristalografía y sólo dejó a sus sucesores, detalles que corregir. HALLER en Suiza y SPALLANZANI en Italia coronaron la obra de HARVEY,

del siglo anterior, creando el estudio metódico de la fisiología.

En Inglaterra, JENNER descubrió la vacuna antivariólica y, en general, en todos los paises, la medicina se volvió cada vez más científica debido a los progresos de las ciencias naturales y de la química.

La Física no quedó rezagada, por cierto, en esta culminación científica del siglo XVIII. Los progresos que conquistó fueron tales que, por su influencia, la industria y la economía mundiales resultaron profundamente modificadas.

Tres grandes victorias señalan el siglo: los grandes descubrimientos en electricidad, que abren horizontes nuevos a la ciencia; el perfeccionamiento de la máquina de vapor, que se aplica a la locomoción y transforma absolutamente el problema comercial de todo el mundo; y la conquista del aire por medio de los globos, los cuales, sin tener aún un valor práctico como medios de locomoción, permitieron hacer observaciones nuevas de suma importancia para la Física y para la Meteorología Práctica, ciencia creada por DUHAMEL.

La electricidad — aunque permaneciera en el dominio estático — fué tal vez la mayor conquista científica del siglo XVIII, y sobre todo la que más impresionó a la humanidad como un paso de gigante hacia el descubrimiento de los misterios de la naturaleza.

Desde el principio del siglo, HAWKSBEE y luego BOSE, HAUSEN, WILCKE, WATSON, RAMSDEN y NAIRNE perfeccionaron las máquinas eléctricas y se reiniciaron con intensidad las investigaciones que poco habían progresado desde las célebres observaciones de GILBERT en el siglo XVI. HAWKSBEE primero, luego GRAY y sobre todo DUFAY, llevaron muy adelante el estudio y la explicación de los experimentos eléctricos elementales; DUFAY propuso la teoría de los dos flúidos y FRANKLIN la del flúido único, precursora de la teoría electrónica moderna. Los experimentos de FRANKLIN y su invento del pararrayos, que llevaron al laboratorio del físico "la electricidad atmosférica" y que dieron al hombre un

medio de defensa contra los "furores del cielo", decretaron, hasta para el vulgo, el triunfo de los estudios de la electricidad.

Pero son muchos los nombres que están eternamente unidos a los progresos de la electricidad en ese siglo, y no deben olvidarse los del ABATE NOLLET, de DALIBARD, MUSSCHENBROECK, DUHAMEL, DE ROMAS, LESAGE, JALLABERT, AEPINUS, SYMMER, CANTON, DE LUC, INGENHOUSZ, COULOMB, DE SAUSSURE, SIGAUD DE LA FOND, HENLEY y, en fin, los de GÁLVANI y de VOLTA, que clausuran el siglo XVIII e inician el XIX con el nacimiento de la electricidad dinámica.

Debe observarse, además, que, ya desde el siglo XVIII, muchos sabios trataron de establecer relaciones entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, mientras que otros se oponían terminantemente a esa gran generalización que debía dar gloria a AMPERE en el siglo siguiente.

La máquina de vapor, mientras tanto, era perfeccionada en tal forma por NEWCOMEN y WATT, que esos progresos colocaron a Inglaterra en una situación industrial realmente privilegiada.

En aeronáutica, los nombres de los hermanos MONTGOLFIER, de CHARLES y PILATRE DE ROZIER son los de sabios y héroes a la vez, que encabezan un nuevo y glorioso capítulo de la historia de la ciencia.

Fuera de esos nuevos estudios que se agregaban a la Física, se seguían ampliando, profundizando y modificando los estudios teóricos y prácticos del siglo XVII.

Se abandonaron los conceptos de la física corpuscular de GASSENDI, de DESCARTES y de BOYLE, que buscaban la explicación de todos los fenómenos físicos en la forma y el movimiento de las moléculas, y se siguió, ya a BOSCOVICH, que no consideraba la molécula sino como un punto ideal, ya a los matemáticos, quienes, haciendo caso omiso de la molécula, planteaban los problemas como si la materia fuese continua.

En el siglo XVIII, muchos fenómenos físicos se explicaron mediante la creación de supuestos flúidos impon-

derables: el calor se atribuyó al "calórico", la luz a la "emisión", y el magnetismo, la electricidad, eran flúidos también, aunque cada uno de constitución distinta.

En el calor, los estudios de termometría de FAHRENHEIT, REAUMUR, CELSIO, los de BLACK sobre calor latente, los de WILCKE y de CRAWFORD sobre calor específico, los de LAVOISIER y LAPLACE sobre dilatación y calorimetría, de DELUC sobre la relación entre la presión y la temperatura de ebullición, de SCHEELE sobre calor radiante, de LAMBERT sobre calor obscuro, de RUMFORD, INGENHOUSZ, FRANKLIN, sobre conductibilidad, y los estudios de HERSCHEL, WEDGWOOD, GRAHAM, HARRISON, etc., sobre distintos puntos, son otros tantos progresos valiosísimos para la física experimental y la física teórica.

La óptica no hizo tan grandes progresos, pues NEWTON y HUYGHENS la habían elevado a un grado de adelanto que, por mucho tiempo, fué difícil superar. Recordemos, no obstante, la construcción de lentes acromáticas por DOLLOND y el estudio de la fotometría por LAMBERT.

Citemos aún, en otros capítulos de la Física, a SULZER por sus estudios de acústica, a JURIN que estableció las leyes de la capilaridad, a CAVENDISH y MASKELYNE por su determinación de la densidad de la Tierra.

Sólo hemos recordado nombres y hechos de primera magnitud, nombres y hechos que acuden a la memoria sin esfuerzo por estar unidos a acontecimientos fundamentales de la historia de las ciencias en esa época fecunda. Con ello basta para que resalte toda la trascendencia del movimiento científico del siglo XVIII, cuyas consecuencias directas fueron los progresos que, por su importancia y su número, caracterizan al siglo XIX como "el siglo de la ciencia", pues fué la ciencia la que ejerció, durante ese siglo, la influencia más profunda sobre la evolución de la humanidad.

GUTENBERG
(1400-1468)

La imprenta.

JUAN GUTENBERG nació en Maguncia en 1400 y murió en la misma ciudad en 1468. La historia de la vida de Gutenberg ha sido muy discutida y muchos autores han llegado a dudar que haya sido el inventor de la imprenta. Sin atrevernos a discutir las distintas opiniones que se han emitido al respecto, admitiremos aquí la versión más conocida y más generalmente admitida sobre el invento de la maravillosa máquina.

El apellido paterno de Gutenberg era GENSFLEISCH y nadie ha podido explicar por qué insistió en llevar el apellido de su madre y en tratar siempre de ocultarse y ocultar su obra. Era hijo de padres relativamente ricos que lo habían destinado al oficio de joyero. Desde la infancia, se sintió atraído por la mecánica y su espíritu inventivo siempre soñaba algún proyecto. A los veinte años, tomó parte en un movimiento político de oposición al poder y tuvo que abandonar su ciudad natal para escapar a la persecución. Refugióse en Estrasburgo, donde se preocupó por conseguir capital para poder realizar su gran proyecto: el de una imprenta con prensa y caracteres metálicos sueltos, pues entendía que ese sistema daría mejores resultados que el que se empleaba entonces en Europa y que consistía en grabar las páginas de las obras en chapas de madera.

Tres burgueses se asociaron con él y pronto hicieron instalar la prensa y fundir en hierro los caracteres. La muerte de uno de los socios y las exigencias exageradas de sus herederos envolvieron a Gutenberg en un pleito que, a pesar de serle favorable en su fallo, le impidió realizar su obra. Volvió entonces a Maguncia y se puso otra vez en busca de dinero para instalar otra imprenta. El que se lo proporcionó, era, por desgracia, un usurero, Fust de apellido, quien trató de sacar el mayor provecho posible de la mala situación en que se encontraba el inventor. Todo se realizó como Gutenberg lo había ideado: la prensa, con ca-

racteres de cobre esta vez, dió resultados que maravillaron. La primera obra publicada fué la Biblia.

Era éste el momento esperado por el miserable socio del gran hombre para frustrarle el resultado de su trabajo. Fust reclamó por la justicia la devolución del capital que había invertido, antes que Gutenberg pudiese vender la edición terminada, y la justicia, instrumento ciego de leyes estrechas, falló a favor del deshonesto usurero. El desgraciado inventor conoció entonces días de miseria y no sucumbió de hambre, gracias a la ayuda de los arzobispos de Estrasburgo y de Maguncia que se apiadaron de él. Mientras tanto, un obrero de Gutenberg, PEDRO SCHOEFER, dirigía la floreciente imprenta y llegó a perfeccionarla para mayor provecho y gloria de Fust, el usurero.

Para demostrar el rápido éxito del invento nuevo, bata decir que, del año 1470 al 1500, se imprimieron en Europa más de 10.000 publicaciones.

La imprenta debe ser considerada como uno de los grandes inventos del hombre, pues ha sido uno de los factores principales del desarrollo de la civilización. Grande es pues la gloria de Gutenberg, su modesto inventor.

Si bien es verdad que los chinos conocían los caracteres de cobre y los grabados en madera desde cinco siglos atrás, está probado también que estos procedimientos eran completamente ignorados en Europa; la prioridad de los chinos no altera pues en nada el mérito del gran inventor alemán.

Debe observarse sin embargo que el invento de la imprenta — gran progreso técnico, de magníficas consecuencias sobre la cultura de la humanidad — no deriva directamente de la evolución de la ciencia y podría haber sido realizado en cualquier otro momento de dicha evolución.

NICOLAS DE CUSA
(1401-1464)

Calendario. — Movimientos de la Tierra. — Clepsidras, batómetro.

NICOLAS DE CUSA, cuyo verdadero nombre era Nicolás KREBS, era hijo de un pescador originario de Cuss en la Mosela, de donde proviene el apellido de "DE CUSA" o "EL CUSANO".

Gracias a poderosos protectores, pudo estudiar en Italia, donde, después de doctorarse en Derecho, como no sintiera vocación por su carrera, entró en las órdenes. Fué arcediano en Lieja y delegado del Papa en el Concilio de Basilea (1431) en el cual se destacó por opiniones arriesgadas condensadas en su obra "de Concordantia Catholica". No obstante, fué nombrado obispo de Tirol y, a los cuarenta y siete años, fué hecho cardenal.

Encargado de numerosas misiones por los papas, viajó por toda Europa y por Oriente; pero dejaremos de lado su profunda fe, sus polémicas religiosas, sus obras de teología y el fracaso de sus misiones de propaganda católica, para sólo recordar aquí la influencia de Nicolás de Cusa en la ciencia del siglo XV.

Negó la posibilidad de llegar a la verdad y consideró el conocimiento humano como un simple conjunto de suposiciones, pero coadyuvó al progreso de las ciencias exactas con obras de matemáticas y de astronomía.

Insistió sobre la necesidad de la reforma del calendario, tal como ya lo había propuesto BACON y como lo realizó más de un siglo después, Gregorio XIII.

Suele ser considerado como el precursor de COPERNICO y de GALILEO, por haber hablado de "movimientos de la Tierra" en su obra "de Docta Ignorantia" (De la sabia ignorancia), con la que se opuso a la afirmación de ARISTOTELES según la cual la Tierra es de materia más grosera que las estrellas, y donde afirmó que es la Tierra una estrella más grande que la Luna y menor que el Sol y que se mueve con tres movimientos: un movimiento de rotación alrededor de su eje, de 24 horas; un movi-

miento alrededor de dos polos variables del Universo conjuntamente con el Sol y las demás estrellas fijas; y un movimiento alrededor de dos polos situados en el Ecuador.

En otra obra, "De Staticis Experimentis Dialogus" (Diálogo sobre experimentos estáticos), impresa recién en 1550 en Estrasburgo, se refirió más directamente a la Física, encontrándose en ella descripciones de clepsidras, de sondas para estudiar el agua del fondo del mar (batómetro), de procedimientos para medir el crecimiento de las plantas, etc.

CRISTOBAL COLON

Desviación magnética.

(Nos limitamos aquí a algunas observaciones acerca del valor de la obra científica de Colón, sin ocuparnos de su vida, ni de la historia de sus viajes, ampliamente estudiadas en las obras de historia).

Fué en Portugal que COLON tuvo la idea de ir a la India por el Oeste. Esta idea en sí, no puede ser considerada como muy original, pues ya hemos visto que la esfericidad de la Tierra era conocida desde muchos siglos atrás, (véase PITAGORAS), y que ya en el tiempo de ARISTOTELES nadie dudaba de ello. Es indudable por consiguiente que algunos hombres de ciencia, mucho antes antes que Colón, hayan tenido la idea de viajar hacia el Oeste para llegar a la India. Su mérito no consiste pues, en creer en la posibilidad de llegar a Asia por el Oeste, sino en la fe y el valor con que se atrevió a emprender tan peligrosa aventura.

Se ha probado también que, antes de formular exactamente su proyecto, Colón estuvo en correspondencia con un astrónomo italiano, TOSCANELLI (Florencia 1397-1482), quien ya había estudiado esta cuestión y quien le dió muy buenos consejos, que deben haber influído poderosamente sobre su decisión.

A los diez días de viaje, el 13 de Agosto de 1492, Colón observó la desviación de la aguja magnética hacia el Nor-

oeste, y, el 14, hacia el Noreste. Este es el hecho que, desde el punto de vista físico, más nos interesa.

Ya hemos visto que la brújula había sido inventada en China y que de allí pasó a los árabes y a los europeos que la perfeccionaron, en el siglo XIV, colocando la aguja magnética sobre un eje y dando a todo el aparato el modo de suspensión que se atribuye erróneamente a CARDANO.

En el tiempo de Colón, los europeos creían que la aguja indicaba exactamente la dirección del Norte y no ha de extrañarnos entonces que la tripulación que acompañaba al ilustre descubridor se alarmara mucho al saber que la brújula indicaba direcciones distintas de un día a otro. Colón, fué pues, el primer europeo (ya que los chinos parecen haber conocido el fenómeno antes) que observara la desviación de la aguja magnética.

Mucho tiempo después, sin embargo, se seguía creyendo aún en la dirección exactamente septentrional de la brújula, atribuyéndose generalmente a un defecto de construcción del instrumento las desviaciones observadas.

En aquel tiempo, se creía también, y Colón no lo puso en duda, que la atracción de la aguja provenía de un punto del cielo, mientras a fines del siglo XVI, se empezó a creer que provenía de unas montañas de hierro magnético situadas en las regiones septentrionales del globo.

LEONARDO DE VINCI
(1452-1519)

Termoscopio. Capilaridad. Frotamiento. Principio de velocidades virtuales.

Este célebre pintor italiano nació en el castillo de Vinci cerca de Florencia, en el año 1452 y murió en Amboise (Francia) en 1519. Era hijo natural de un jurista de fama y de una joven campesina.

El nombre de este inmortal artista florentino está unido a los progresos de la pintura, de la música, de la escultura, de

la arquitectura, de la mecánica, de la anatomía, de la botánica, de la astronomía, del álgebra y también de la física.

Espíritu independiente, seguro de su fuerza y de su razón, LEONARDO DE VINCI no pudo nunca cultivar por largo tiempo la amistad o la protección de los que reconocían y admiraban sus méritos.

Vivió sucesivamente en las Cortes de Lorenzo de Médicis, del Duque de Milán, de César Borgia, del Papa León X y en la del rey de Francia, Francisco I.

No reunió sus escritos y sólo su "Tratatto della Pittu-



LEONARDO DE VINCI

ra" ha sido conservado completo. Dejó simples apuntes sueltos; no es extraño pues que la obra relativamente extensa, que de este ilustre genio conocemos, no sea más que parte de su enorme producción.

Entre las innumerables ideas nuevas y geniales que introdujo en la ciencia, sólo seleccionaremos algunas que tienen particular interés en este estudio.

En primer lugar debemos recordar que las obras "físicas" de Vinci sólo fueron conocidas y publicadas más de

dos siglos después de su muerte y que es especialmente DUHEM quien, a principios del siglo XX, ha hecho apreciar con exactitud el valor de esas obras. Es evidente que Vinci conoció y aprovechó ampliamente los descubrimientos de ARQUIMEDES, de EUCLIDES y de HERON, a quienes cita además en sus escritos, aunque no con toda la frecuencia deseable. Logró ampliar o expresar con mayor claridad y precisión los conceptos de los antiguos, sin llegar, sin embargo, a darles la completa "madurez" necesaria para que esos conceptos pudiesen abrir nuevos horizontes a la ciencia. En física, Vinci fué pues, un "lazo de unión" entre los antiguos y los grandes genios de los tiempos modernos, como STEVIN o GALILEO.

Conoció y utilizó el termoscopio de FILON DE BIZANCIO, perfeccionado por HERON, y son de cierto interés sus observaciones sobre el calor radiante como parte integrante de los rayos luminosos.

LIBRI (1) le atribuye el descubrimiento de la capilaridad; pero debemos recordar que PLATON ya conocía la propiedad de los hilos de lana de elevar los líquidos y de permitir su trasiego. Vinci observó la ascensión de los líquidos en tubos finos e inauguró así el estudio científico del fenómeno.

Hizo también experiencias con los vasos comunicantes, utilizando varios líquidos, y observó que las alturas de éstos son inversamente proporcionales a sus pesos específicos respectivos. Como ARQUIMEDES, conocía la importancia de la presión de los flúidos.

Las ondas que aparecen en la superficie de un líquido en el cual se ha arrojado una piedra fueron también observadas por el genial italiano y encontramos en ese estudio una referencia precisa a las interferencias que producen su encuentro.

En óptica, Vinci estableció una teoría de la visión, en la cual comparaba el ojo con una cámara oscura; pero DUHEM ha demostrado que el invento mismo de la cámara no

---

(1) "Hist. des Math. en Italie".

debe serle atribuído, pues ya habló de ella R. BACON quien fué tal vez su verdadero inventor. Vinci indicaba que la imagen se forma en el ojo, igual que en la cámara, invertida, y que su impresión en la retina no se borra sino después de algún tiempo.

En mecánica, Vinci enunció con mayor precisión que HERON, el "principio de las velocidades virtuales" en la forma siguiente: "Cuando en una máquina, el motor tiene más movimiento que el móvil en un tiempo igual, absorbe menos fuerza, e inversamente."

Sobre el plano inclinado, expresó ideas acerca del movimiento acelerado, que permiten ya prever los conceptos de GALILEO.

En el frotamiento, que estudió más ampliamente que HERON, adelantó, sin mayor precisión, conceptos que recién habían de ser ampliados y definidos por COULOMB, en el siglo XVIII.

Estudió también la elasticidad con el dinamómetro de resorte de su invento. Determinó el centro de gravedad de la pirámide. Negó en forma terminante la posibilidad del "movimiento perpetuo", aquel vano sueño en que algunos tienen aún una fe instintiva. Inventó un higrómetro, estudió la resistencia, la compresibilidad y la pesantez del aire, así como las figuras formadas por las placas vibrantes.

Es considerado en fin como uno de los precursores de la aviación por haber imaginado el "helicóptero", pájaro mecánico de alas batientes, resultado de un largo estudio del vuelo de los pájaros, que le permitió afirmar que sus alas encuentran un punto de apoyo en la resistencia del aire.

La abundancia y la falta de precisión de los conocimientos de Vinci son clara manifestación de ese movimiento, incoherente en su principio y luego definido y pronunciado, llamado el "Renacimiento Científico". Pero debe recordarse que la obra vasta y dispersa de Leonardo de Vinci no tuvo sobre aquel movimiento la influencia que

podría esperarse de su auténtico valor, y puede asegurarse que si esa obra hubiese sido reunida, publicada y difundida por su autor, el Renacimiento hubiera, sin duda, acelerado su marcha.

COPERNICO
(1473-1543)

Teoría geocéntrica.

NICOLAS KOPPERNICK (Copérnico) nació en Thorn en 1473 y murió en Frauenburg en 1543.

Copérnico y GALILEO son los dos genios más descollantes del Renacimiento Científico y son justamente considerados como los promotores de una era nueva. Pero,



NICOLAS COPERNICO

mientras GALILEO es figura cumbre del Renacimiento Científico italiano ya iniciado por L. DE VINCI, Copérnico es la expresión del Renacimiento Septentrional y de la Reforma, que tuvieron por promotor a ERASMO.

Copérnico era polaco, pues nació en Thorn, ciudad devuelta desde 1464 al reino de Polonia; estudió principalmente en Cracovia y concibió sus obras en Polonia, donde siempre obtuvo la aprobación y el respeto de sus compatriotas.

Es en vano pues, que autores alemanes traten de demostrar con argumentos más o menos dignos de fe que Copérnico era alemán; el honor de contar a este genio entre sus hijos pertenece indudablemente a Polonia.

Copérnico hizo sus primeros estudios en su ciudad natal y a los diez y ocho años fué a estudiar en la ciudad de Cracovia donde se hizo notar por su interés por las literaturas antiguas, las matemáticas y, sobre todo, por la astronomía, que le fué enseñada por el célebre ALBERTO BRUDZERESKI. Dos años más tarde, pasó algún tiempo en Viena donde fué discípulo de PURBACH (1) y de REGIOMONTANO (2); luego se dirigió a Italia. En Padua, fué colaborador del astrónomo DOMINGO FERRARI; en Roma, fué profesor de matemáticas, y, de vuelta a Padua, recibió el título de doctor en medicina.

En el año 1503, Copérnico volvió definitivamente a Polonia y, por influencia de uno de sus tíos, obispo de Ermland, se le proporcionó un canonicato en Frauenburg, en los bordes del Báltico, y allí estableció su observatorio.

---

(1) JORGE PURBACH, matemático y astrónomo austríaco, nació en Purbach en 1423 y murió en Viena en 1461. Perteneció, como REGIOMONTANO, al grupo de estudiantes del norte de Europa que fueron a buscar a Italia la nueva ciencia y propagaron así el Renacimiento. Fué profesor de astronomía en Padua, Ferrara, Bolonia, y, más tarde, profesor de matemáticas en Viena donde tuvo por discípulos a REGIOMONTANO y COPERNICO. Corrigió la traducción latina de PTOLEMEO con mucha exactitud y creía en la hipótesis de los cielos concéntricos.

(2) REGIOMONTANO, (de verdadero nombre MULLER), astrónomo alemán, nació cerca de Koenigsberg en 1436 y murió en Roma en 1476. Prosiguió la corrección de la traducción de PTOLEMEO que PURBACH no pudo terminar y publicó una obra de trigonometría que tiene el mérito de ser la primera obra completa que sobre esta materia se publicara en Europa, pero no es superior a la obra de los árabes. Murió probablemente asesinado por los hijos de JORGE DE TREBISONDA (1396-1495) que creían vengar así la fama de su padre de quien REGIOMONTANO había corregido muchos errores en su traducción de PTOLEMEO.

Fué aproximadamente en el año 1512 que el sabio polaco imaginó su sistema cosmogónico de cuya exactitud se fué convenciendo lentamente.

Esta, como tantas ideas verdaderamente geniales, nos extraña por su sencillez. En pocas palabras Copérnico explicó los puntos fundamentales de su teoría:

> " Después de largas investigaciones — dice — " me he convencido al fin de que: el Sol es una estre- " lla fija, rodeada por planetas que giran a su alrede- " dedor y de los cuales ella es el centro y la antorcha; " que además de los planetas principales los hay de se- " gundo orden, que circulan primero como satélites al- " rededor de estos y con ellos alrededor del Sol; que la " Tierra es un planeta principal sujeto a un triple mo- " vimiento: que todos los fenómenos del movimiento " diurno y anual, la vuelta periódica de las estaciones " y todas las vicisitudes de la luz y de la temperatura de " la atmósfera que las acompañan, son resultados de " la rotación de la Tierra alrededor de su eje y de su " movimiento periódico en torno del Sol; que el curso " aparente de las estrellas no es más que una ilusión óp- " tica producida por el movimiento real de la Tierra " y por las oscilaciones de su eje; que, en fin, el movi- " miento de todos los planetas da lugar a dos clases de " fenómenos que es esencial distinguir y de los cuales " los unos derivan del movimiento de la Tierra y los " otros de la revolución de estos planetas alrededor " del Sol".

Todos los puntos de esta teoría no eran absolutamente nuevos; la única parte completamente original reside en la afirmación del movimiento de todos los planetas alrededor del Sol, pues la existencia de un movimiento giratorio de la Tierra era ya sospechada en la antigüedad por HERACLIDES DE PONTO, EKFANTE el peripatético, NICETAS DE SIRACUSA y probablemente por el mismo PITAGORAS; y el movimiento de la Tierra alrededor del Sol era conocido por ARISTARCO DE SAMOS.

Intimidado por la temeridad de su propio genio, Copérnico no se decidía a hacer conocer sus trabajos y sólo lo hizo después de más de treinta años y a ruegos constantes de algunos amigos iniciados en sus ideas y sobre todo del Cardenal de Schemberg, obispo de Padua. RHETICO (1), profesor de matemáticas en Wittenberg, abandonó su cátedra para ponerse bajo sus órdenes y ayudarle en la publicación de su obra.

En 1543, pocos días antes de la muerte del ilustre astrónomo, su trabajo apareció en Nuremberg con el título de "De revolutionibus corporum coelestium" y era dedicado al papa Pablo III en los siguientes términos, que le valieron su aprobación: "Vuestra autoridad me servirá de es-
" cudo contra los malos a pesar del proverbio que dice
" que no hay remedio contra la mordedura de un ca-
" lumniador... Yo estoy seguro que los sabios y pro-
" fundos matemáticos aplaudirán mis investigaciones,
" si, como conviene a los verdaderos filósofos, exami-
" nan a fondo las pruebas que presento en esta obra.
"Si hombres ligeros e ignorantes quisieran abu-
" sar de algunos trozos de la Escritura, de la que des-
" vían el sentido, no me preocuparía de ellos. Despre-
" cio de antemano sus ataques temerarios. Las verda-
" des matemáticas no deben ser juzgadas sino por ma-
" temáticos."

Las pruebas que invocaba Copérnico no eran, sin embargo, tan concluyentes como podría creerse, pues los aparatos de su tiempo eran demasiado rudimentarios aún para permitir reunirlas.

Fué sólo después del invento del telescopio que pudieron aportarse pruebas de valor indiscutible y GALILEO, KEPLERO y, en pleno siglo XIX, FOUCAULT, fueron

---

(1) RHETICO, matemático y astrónomo, nació en Recia en 1514 y murió en 1576. Abandonó su cátedra en Wittemberg para trabajar con COPERNICO. Entregó sus manuscritos a la publicación en Nuremberg y corrigió las pruebas de esta edición.

los que más contribuyeron a dar pruebas absolutas de las teorías de Copérnico.

Los hombres de ciencia se dividieron en dos bandos tan pronto como "De revolutionibus corporum coelestium" se hizo conocer. Los unos se mostraron completamente favorables a la nueva teoría y los otros se mantuvieron fieles a las obscuras explicaciones del sistema de PTOLEMEO. Entre los primeros se destacaron sobre todo RHETICO, REINHOLD (1), ROTHMANN (2), MASTLIN y finalmente KEPLERO y GALILEO, quienes establecieron definitivamente la verdadera teoría. En el bando opuesto, el detractor de más valor científico fué sin duda el gran sabio danés TYCHO BRAHE, pero el enemigo más poderoso fué el Poder Eclesiástico.

El pontífice Pablo III había recibido sin oposición y hasta con benevolencia las teorías de Copérnico y no había visto en ellas ningún peligro para la religión. Esta no fué sin embargo la opinión del pontífice Pablo V, quien previó la influencia que las "hipótesis" de Copérnico iban a tener sobre la ciencia y el progreso humano y creyó que se oponían directamente a la religión.

Con un razonamiento simplista, puede creerse que la teoría geocéntrica de los antiguos está más de acuerdo con las creencias religiosas, porque la posición central de la Tierra en el Universo sería prueba clara de que el Creador lo hubiese constituído todo para ella y para el hombre. La teoría heliocéntrica de Copérnico, al contrario, al considerar la Tierra como uno de los planetas que giran alrededor del

(1) REINHOLD, matemático alemán, nació en Turingia en 1511 y murió en 1553. Comentó las obras de PURBACH y de REGIOMONTANO.

(2) ROTHMANN, astrónomo de Guillermo IV de Hesse Cassel, nació en 1540 y murió en 1610. Era amigo de TYCHO BRAHE y lo presentó a Guillermo IV, quien influyó en su favor acerca del rey de Dinamarca. Tuvo grandes discusiones con BRAHE, pero no pudo convencerlo nunca de la exactitud de la teoría de COPERNICO. BRAHE atribuía también la refracción a los vapores contenidos en la atmósfera. ROTHMANN fué quizás el primero que la atribuyera al paso de los rayos luminosos del vacío a la atmósfera.

Sol, quita a este planeta y al hombre su papel primordial en el Universo.

Pablo V condenó en 1616 la obra de Copérnico y hasta ahora la Iglesia no ha rehabilitado oficialmente esta obra magistral. Es por esta razón que cuando, en 1829, el pueblo de Varsovia inauguró la estatua de Copérnico, los eclesiásticos de la Iglesia de la Santa Cruz, que se había llenado de una enorme multitud de creyentes, rehusaron participar del acto con sus oraciones.

No fué, por otra parte, sólo el catolicismo que reprobó la teoría de Copérnico y son prueba de ello las líneas siguientes del gran teólogo reformista MELANCHTON:

> "¡Admirad a este imbécil que quiere reformar la " ciencia astronómica! Pero las Sagradas Escrituras lo " declaran sin lugar a dudas: Es al Sol y no a la Tie- " rra, que Josué le ordenó detenerse".

MAUROLICO (o MOROLICO)
(1494-1575)

Optica.

FRANCISCO MAUROLICO nació en Mesina en 1494 y murió en la misma ciudad en 1575. Desde su infancia Morólico mostró un afecto especial a las matemáticas y, después de haberse hecho sacerdote y haber obtenido una importante abadía, no se preocupó más que de sus estudios de matemáticas y de astronomía, ciencias que enseñó hasta su muerte en su ciudad natal.

Aportó grandes progresos a la trigonometría y a la geometría y fué llamado por sus compatriotas "Segundo Arquímedes" por haber puesto como él sus conocimientos al servicio de su patria atacada esta vez, no por los romanos, sino por los españoles.

Su obra de óptica titulada "Photismi de lumine et umbra ad perspectivam radiorum incidentium facientes" es la

primera obra de óptica que, después de AL HAZEN, tenga un verdadero valor científico. No solamente se recuerda en ella, todo lo que conocían sus predecesores sino que Morólico emite además conceptos propios de gran exactitud. Entre éstos, debe recordarse que fué el primero en nombrar con precisión los colores del arco iris y en compararlos con los colors producidos por el prisma de vidrio, aunque ignorara la ley de la refracción. Estudió, sin embargo, con acierto la refracción en los vidrios planos paralelos observando que, en este caso, el rayo desviado es paralelo al incidente y su desviación depende del ángulo de incidencia.

Sabía que las lentes convexas son convergentes y que las lentes cóncavas son divergentes. En su estudio de las teorías de la visión, describió muy exactamente la marcha de los rayos luminosos a través de la córnea y del cristalino y dedujo, como ya lo había hecho LEONARDO DE VINCI, que la imagen se forma invertida en la retina.

Ignoró, sin embargo, la función importante de la retina en la visión, pero entendió las causas de la miopía y de la presbicia, aconsejando el uso de lentes convexas o cóncavas para su corrección.

Este sabio matemático siciliano fué, después de PAPO, el primero en reiniciar el estudio metódico y matemático de la determinación del centro de gravedad de los cuerpos.

CARDAN
(1501-1576)

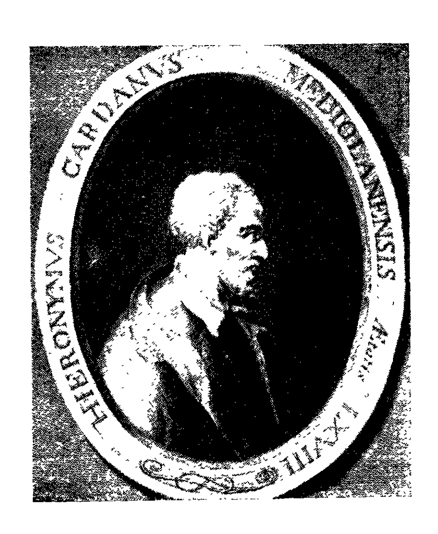
Resistencia del aire. Suspensión.

GERONIMO CARDAN (o CARDANO) nació en Pavía en 1501 y murió en Roma en 1576.

Este célebre filósofo, matemático y médico italiano hizo sus primeros estudios con su padre, que era jurisconsulto y muy aficionado a las matemáticas. Pasó después a la Universidad de Pavía y eran tantos sus méritos que, a los 21 años, enseñó la metafísica y la geometría, y, a los 23,

recibía los títulos de Maestro en Artes y Doctor en Medicina en la Universidad de Padua, de la que fué nombrado Rector en el mismo año.

Pasó muchos años en Milán, donde ejerció la medicina; en Bolonia, donde se dedicó a la enseñanza y, al fin, en Roma, donde el Papa Gregorio XIII lo incluyó en su Colegio de Médicos.



GERONIMO CARDAN

Su obra científica es muy amplia y ha hecho hacer considerables progresos a las matemáticas; pero su carácter y su vida repugnan de tal modo, que impiden juzgar imparcialmente a este vicioso sabio. El mismo ha sabido juzgarse, y en su libro "De Vita Propria" ha sabido enunciar todos sus propios vicios y todas sus bajezas, pintándose tal como era; jugador, que arruinó su familia; ladrón, que pasó muchos años en la cárcel; enemigo de los suyos, ya que por sus malos ejemplos, hizo de uno de sus hijos un depravado, que arrastró su vida de prisión en prisión, y de otro un asesino que fué condenado a muerte por haber envenenado a su mujer. Orgulloso, egoísta, colérico, mezquino, traidor, rencoroso, maldiciente y obsceno, son algunos de los adjetivos que no

ha vacilado en atribuirse en ese extraordinario momento de franqueza. Era, además, supersticioso y algo desequilibrado, sin duda; y se cuenta que se dejó morir de hambre el día que, según sus cálculos astrológicos, debía ser infaliblemente el último de su vida.

Es en matemáticas donde su enorme influencia se ha hecho sentir. Su mayor título de gloria, la resolución de las ecuaciones de tercer y de cuarto grado, no le pertenece del todo; en efecto, su resolución de la ecuación de tercer grado ha sido inspirada, si no copiada, de un documento que robó a su autor, el demasiado honesto TARTAGLIA (1500-1557), y la ecuación del cuarto grado no fué completamente terminada por él sino por su discípulo LUIS FERRARI (1522-1565).

En Física, debe citarse el nombre de Cardano por algunas de sus observaciones. Habló de la resistencia del aire sobre los proyectiles y determinó la densidad de varios cuerpos por medio de esta resistencia; midió la velocidad del viento tomando como unidad de tiempo sus pulsaciones, considerándolas como más exactas que las indicaciones de los aparatos que para la medida del tiempo se empleaban en la época; habló de la necesidad de la presencia del aire para que un cuerpo entre en combustión; explicó el centelleo de las estrellas como una consecuencia de las vibraciones del aire; observó la potencia del vapor y emitió la idea de que podría aprovecharse como fuerza y para producir el vacío por su condensación.

Se cita a veces a Cardán entre los precursores del método experimental instituído por GALILEO. Pero, ¿cómo sostener que ese hombre, siempre guiado por ridículas creencias supersticiosas, pudiera ser uno de los iniciadores de ese sistema científico?

Cardán se atribuyó sin derecho alguno el invento de la "suspensión" designada todavía por su nombre y que consiste en un sistema de círculos concéntricos por medio del cual los aparatos conservan su posición vertical u horizontal aunque se mueva el soporte. Esta suspensión, conocida mucho tiempo atrás por los chinos, aparece descripta en

los libros de magia del siglo XII, que Cardán conocía y leía muy seguramente. ARQUIMEDES también lo precedió en el invento de una suspensión similar, a la cual se refiere OVIDIO.

Es probable que muchas otras ideas que se atribuyen a Cardán, no le sean personales pues en aquella época se respetaba poco la propiedad científica y él, menos que nadie, tuvo escrúpulos para apropiarse de inventos ajenos. Se puede sospecharlo, como lo demostró DUHEM, de haber emitido como suyas, ideas inéditas de LEONARDO DE VINCI, pues se sabe que era poseedor de muchos de sus manuscritos.

La mejor de las muchas obras — más de doscientas — que Cardán ha escrito, es probablemente su tratado "De Subtilitate", que publicó en 1550 y que fué traducido al francés a fines del siglo XVII, época en que era todavía una de las obras más consultadas en estática e hidrostática.

LILIO
(1510-1576)

Calendario.

LUIS LILIO, médico y astrónomo italiano, nacido en Ciro (Calabria) en 1510, murió en Roma en 1576, seis años antes de que Gregorio XIII instituyera definitivamente la reforma del calendario, tal como él se la había propuesto. Esta reforma necesaria ya había sido aconsejada por muchos astrónomos y sabios, de los cuales el primero parece haber sido ROGERIO BACON.

Sabemos que los egipcios dividían el año, de 365 días, en 12 meses lunares de treinta días cada uno, al cabo de los cuales agregaban 5 días suplementarios. Los árabes observaron un error de un cuarto de día por año en ese calendario egipcio e introdujeron entonces un día cada cuatro

años. CESAR, en el año 45 antes de J. C. instituyó el calendario juliano que dividía el año en 12 meses de 30 ó 31 días y atribuía 28 días al mes de febrero agregándole un día cada 4 años. Este calendario provocaba un error de 11 m. 12 segundos por año, que, acumulado en los años sucesivos hasta el siglo XVI, llegó a ser considerable. Gregorio XIII se decidió entonces a considerar propuestas de reforma del calendario y se rodeó de astrónomos a fin de cumplir con exactitud esta tarea. Entre estos sabios debemos citar a Lilio, MOLEZIO (1), IGNACIO DANTI (2) y CLAVIO (3). Se resolvió entonces descontar 10 días al mes de octubre de 1582 a fin de corregir los errores acumulados y no contar en adelante como bisiestos los años seculares, cuyo número de centena no sea divisible por 4.

RAMO
(1515-1572)

Resistencia del aire. Suspensión.

PEDRO RAMO, o DE LA RAMEE, nació en 1515 y murió en París, asesinado en el día de San Bartolomé (26 de agosto de 1572).

Llegamos con Ramo a la época en que se inició la gran lucha contra la filosofía de ARISTOTELES en una entusiasta reacción contra la fe exagerada en los antiguos. Ya hemos dicho que en el curso de este movimiento beneficioso para la ciencia, muchos sabios fueron perseguidos por haberse atrevido a discutir las ideas de la escuela peripatética, que constituían el saber oficial y eran defendidas por los poderes, la Sorbona y la Iglesia.

(1) MOLEZIO (Messina 1531-Padua 1580) matemático italiano.

(2) IGNACIO DANTI (Perusa 1537-Alatri 1586) monje domínico, matemático y cosmógrafo; enseñó en Florencia; Gregorio XIII lo hizo matemático pontifical y más tarde, obispo de Alatri.

(3) CRISTOBAL CLAVIO (Bamberga 1537-Roma 1612) jesuíta y matemático alemán.

TARTAGLIA fué probablemente el primero que atacara directamente las obras de ARISTOTELES, indicando algunos de sus errores, pero uno de los grandes héroes de esa lucha fué Ramo.

Hijo de un gentilhombre belga, muy pobre, tuvo que hacer grandes sacrificios para poder estudiar. Entró, a los 12 años, como criado en el Colegio de Navarra del que salió nueve años más tarde con el título de Maestro en Artes. Enseñó matemáticas y filosofía y atacó valientemente a los peripatéticos, no en detalles aislados como lo hiciera TARTAGLIA, sino en conjunto y de frente, sosteniendo que "todo lo que Aristóteles ha dicho es falsedad y mentira". Atacar científicamente las ideas defendidas por espíritus fanáticos, en aquella época de torturas y de intransigencia, era un acto de valor y de abnegación que los doctos profesores de la Sorbona no tardaron en denunciar al rey Francisco I; y éste, respetuoso ante el dogma oficial, amenazó al atrevido, impuso el retiro de sus obras y le prohibió enseñar filosofía (1544). Pero Enrique II, aconsejado por altos protectores de Ramo, anuló el injusto decreto, autorizó una nueva edición de sus obras y nombró a su autor profesor de filosofía del Colegio Real. Ramo vióse obligado, sin embargo, a abandonar París, por haberse adherido al protestantismo, y ofreció sus servicios a Condé y a Coligny. Volvió después de la paz de San Germán (1570) y no se preocupó más que del estudio, ya que Carlos IX le prohibió dictar sus cursos aunque le conservara su sueldo de profesor.

Ramo fué uno de los primeros que se preocupara en hacer surgir la razón de la filosofía y de las ciencias, librándolas de prejuicios, palabras huecas y falsas e iniciando así aquella purificación de las ideas que DESCARTES debía realizar. Ramo supo imponerse a los espíritus libres y concientes de toda Europa, y formó una verdadera secta de "ramistas" que prosiguieron la lucha contra las obscuras ideas del tiempo.

El día de San Bartolomé, Ramo fué sorprendido en su cuarto, absorto en el estudio y ajeno a las matanzas que en-

sangrentaban las calles de París, y el sabio filósofo fué degollado y su cuerpo fué arrojado al Sena. Después de 19 siglos, se reproducía así la cruel escena de la muerte de ARQUIMEDES.

BENEDETTI
(1530-1590)

Oposición a la mecánica de Aristóteles. "Momento estático". Fuerza centrífuga.

JUAN BAUTISTA BENEDETTI, matemático italiano, nació en Venecia en 1530 y murió en Turín en 1590.

Fué uno de los hombres de más erudición de su época y tiene varios títulos a la inmortalidad, pues fué uno de los fundadores de la geometría analítica y, en estática, puede ser considerado como uno de los principales precursores de GALILEO.

Fué discípulo de TARTAGLIA durante algún tiempo y muy pronto se hizo notar por sus obras de matemáticas. En 1585, publicó en Turin sus "Especulaciones Diversas", obra amplia de matemáticas y física en que estableció una valiosa teoría de la caída de los cuerpos, teoría que fué absolutamente desconocida por sus contemporáneos. Fué el primero en indicar los errores que en mecánica cometió ARISTOTELES, y en demostrar que, cuando cuerpos idénticos caen en medios distintos, no tienen siempre velocidades inversamente proporcionales a la densidad del medio, como lo creían los peripatéticos, sino que esta ley sólo es exacta cuando la densidad del cuerpo es igual a la suma de las densidades de los medios (principio de ARQUIMEDES) (1).

---

(1) Si llamamos: m, la masa del cuerpo, a y a' su aceleración en los dos medios de densidades respectivas d y d', V el volumen del cuerpo y D su densidad, tendremos como valores de su fuerza motriz en cada medio:

$$ma = V (D - d)$$
$$ma' = V (D - d')$$

Se le debe también la teoría del equilibrio de la palanca curvilínea para fuerzas no paralelas, empleando en esa oportunidad el concepto de "momento estático". Estableció la teoría de la cuña, que reducía a la de la palanca. Emitió ideas claras acerca de la fuerza centrífuga, pues sabía ya que cuanto mayor es la velocidad de un cuerpo mayor es su tendencia de moverse en línea recta. Se inclinó a favor de ANAXAGORAS y contra ARISTOTELES, al afirmar que, detenida la acción de la fuerza centrífuga, el cuerpo sigue la dirección de la tangente. Estuvo muy cerca de descubrir la ley de la inercia pues sabía que un cuerpo en movimiento conserva su velocidad inicial y que a ella se agrega o sustrae el efecto de otras fuerzas. Creía en la existencia del vacío, negada por los peripatéticos, a quienes también criticaba en su creencia de que el calor solar se debe al movimiento del Sol.

Sin sospechar de ninguna manera a Benedetti de plagio, sino para demostrar que había sonado la hora de la rebelión contra los peripatéticos, se debe hacer observar que su obra fué publicada en 1585, o sea dos años después que GALILEO iniciara sus investigaciones.

Benedetti, considerado como inferior a CARDAN y a TARTAGLIA en matemáticas, fué superior a ellos en física y en mecánica.

Por división obtendremos que:

$$\frac{a}{a'} = \frac{D-d}{D-d'}$$

Ahora bien, si: $D = d + d'$

tendremos: $\frac{a}{a'} = \frac{d'}{d}$

o sea la demostración de la afirmación de ARISTOTELES.

(Véase: "Storia della Fisica", R. Pitoni, p. 91. Libri "Hist. des Mat.", p. 125 y 248).

PORTA
(1538-1616)

Inventos que se le atribuyen.

JUAN BAUTISTA DELLA PORTA nació en Nápoles en 1538 (1) y murió en el año 1616 en la misma ciudad.

Era descendiente de una antigua familia napolitana y fué educado conjuntamente con su hermano, por un tío aficionado a la arqueología. Mientras su hermano Vicente se interesaba por esta ciencia, Giambattista se dedicó a la literatura y publicó comedias que conservan un honroso puesto en la literatura italiana; pero su atención fué atraída por los naturalistas de la antigüedad y las ciencias naturales lo conquistaron, aunque no abandonó nunca el cultivo de las letras. Viajó por toda Europa visitando los sabios y recorriendo las bibliotecas; vuelto a su patria, se retiró con su hermano en una propiedad cerca de Nápoles, donde realizaron experimentos y recibieron a muchos sabios.

Porta formó en 1560, la Academia de los Secretos (Academia Secretorum Naturae), cuyos trabajos ignoramos y que fué clausurada después de haber sido acusada por el Papa de ocuparse de "artes ilícitas". Esta sociedad puede ser considerada como la primera academia científica europea, siempre que no se dé este título al ensayo infructuoso hecho en Milán por LEONARDO DE VINCI.

La obra principal de Porta es su "Magia Naturalis" que escribió a los 15 años y fué corrigiendo y aumentando durante 36 años, en numerosas ediciones.

---

(1) Se ha discutido mucho acerca de la fecha del nacimiento de PORTA, que en muchos autores es fijada al 1543. La razón de esta discrepancia parece ser la siguiente: Porta publicó su "Magia Naturalis" a la edad de 15 años y como la edición más antigua que se haya encontrado es de 1558, se ha podido creer que era la edición original, pero se sabe que ha existido una edición anterior. En fin, en la última edición de la misma obra, en 1589, Porta dice que tiene 50 años, en el prefacio que lleva la fecha de 1588. (Véase Libri "Hist. des Math. en Italie", tomo IV, pág. 108 y POGGENDORFF en su "Hist. de Physique", pág. 77). HOEFER en su "Hist. de la Physique et de la Chimie" (pág. 233) y DEZBRY en su "Dictionnaire de biographies" eligen la fecha 1540.

Fué la obra más leída en el siglo XVI y fué traducida en todos los idiomas, incluso el árabe. Formada por cuatro tomos en su primera edición, comprendía veinte en la última, de los cuales se editaron más tarde, separadamente, los más importantes.

Era una enciclopedia de "conocimientos milagrosos" y "secretos maravillosos" recogidos por Porta en el curso de sus viajes y estudios, y donde se encuentra desde "el imán que atestigua la virginidad de una mujer" hasta la "lámpara que al iluminar a una persona la asemeja al caballo". Pero entre esas estupideces, que tanto agradaban al público de aquella época, se encuentran algunos datos que interesan a la historia de la física y de la química, y se descubre a veces en su autor el afán de ser más científico así como el reconocimiento del valor del método experimental.

El gran éxito de la "Magia" dió mucha gloria a Porta y se llegó al extremo de compararlo con GALILEO. En física, le atribuyeron el invento del telescopio, de la cámara obscura, del termómetro, de la máquina de vapor y el descubrimiento de numerosos fenómenos de magnetismo y de óptica. Acerca del anteojo — de cuya historia hablamos en otra parte — basta decir que en la obra de Porta no se encuentra su descripción, y que recién reivindicó derechos a su invención después que GALILEO hubo introducido y construído en Italia algunos de estos instrumentos conocidos anteriormente en Holanda (véase GALILEO).

En cuanto al invento del termómetro, Porta construyó un aparato que no significa progreso alguno sobre el termoscopio de FILON DE BIZANCIO y de HERON, cuyas obras conocía. Por otra parte, sólo lo empleó para experimentos sobre dilatación.

Se le sigue considerando generalmente como el inventor de la cámara obscura, pero recordamos que ROGERIO BACON ya la conocía y tal vez fuera su primer inventor, y que LEONARDO DE VINCI también hizo referencia a ella cuando estableció su teoría de la visión. Porta ha sido, sin duda, el primero que realizó una serie de experimentos con este aparato y que introdujo una lente biconvexa en su

abertura, formando así un microscopio solar, pues observaba de este modo dibujos por transparencia.

En su estudio de la visión, Porta descubrió la variación de dilatación en la pupila según la intensidad de la luz. Estudió también la posición del foco en los espejos cóncavos y el número de las imágenes en los espejos angulares, pero se limitó a establecer este número en el caso particular del objeto colocado en la bisectriz del ángulo. Debe observarse que Porta creía en la instantaneidad de la propagación de la luz como lo creían los filósofos antiguos anteriores a HERON, a PTOLEMEO y a AL HAZEN, quienes atribuían a la luz una velocidad inconmensurable.

Son muy discutibles los derechos que pueda tener Porta a ser considerado como el precursor del invento de la máquina de vapor (1) por haber imaginado un aparato muy parecido al de HERON o al de SALOMON DE CAUSS o sea en que el vapor ejerce una presión sobre la superficie del agua encerrada en un recipiente y hace salir esa agua por un tubo. Además, Porta realizó este experimento en un pequeño aparato de laboratorio y con el único fin de determinar "en cuántas partes de aire una parte de agua puede transformarse". mientras que CAUSS hablaba de una "máquina para elevar el agua arriba de su nivel".

Las observaciones de Porta sobre magnetismo forman uno de los veinte tomos de la edición mayor de la "Magia", en que expone, entre muchos absurdos, todo lo que se sabía acerca de este punto en el siglo XVI: propiedades de los imanes, métodos de imantación, influencia de los imanes a través de todas las materias excepto el hierro, declinación de la aguja magnética distinta en los diferentes países y sus variaciones horarias.

En algunos puntos, sin embargo, las aserciones de Porta sobre magnetismo significan un retroceso sobre lo ya

(1) Véase la historia de la máquina de vapor en la biografía de WORCESTER.

establecido con claridad y concepto más exacto por PEREGRINO (1) en el siglo XIII.

Porta realizó experimentos sobre la refracción y el prisma, y veremos al hablar de la Academia del Cimento, que había hecho una observación del calor radiante y otra que le hubiera permitido inventar el higrómetro.

Tal es la obra de este sabio extraordinario, que en la mayor parte de su trabajo, adolece de todos los defectos de la Edad Media, mostrándose en esto digno sucesor de su maestro CARDAN.

GILBERT
(1540-1603)

Magnetismo. Magnetismo terrestre. Electricidad. Arco Iris.

GUILLERMO GILBERT, médico inglés, nació en 1540 en Colchester y murió en Londres en 1603. Después de recibir su título de Doctor en Medicina en la Universidad de Cambridge, se instaló en Londres donde adquirió tal renombre que fué nombrado médico de la reina Isabel, y conservó el mismo puesto con el rey Jacobo I.

Como sabio, su fama es mayor aún, y sus descubrimientos impresionaron tanto los espíritus que muchos biógrafos — con cierta exageración — no vacilaron en considerarlo como uno de los más grandes genios de la historia de las ciencias. El mayor mérito de Gilbert es que reali-

(1) PEDRO PEREGRINO publicó en 1269 una obra titulada "De magnete" en la cual, entre muchas otras observaciones acertadas sobre la piedra imán, estableció la dirección de las líneas de atracción de un imán tallado en forma de cono, descubrió la repulsión de los polos de mismo nombre de dos piedras imanes, y, en fin, emitió en germen la idea del magnetismo terrestre, cuando supuso que la piedra imán no tiene imanación propia sino la que le cede la Tierra, para explicar por qué, al quebrarse en varios trozos una piedra imán, cada trozo tiene dos polos y es un imán completo. (HOPPE, "Hist. de la Phys.", pág. 431).

zó su obra cuando KEPLERO sólo había publicado su "Prodromus" y cuando GALILEO aun no había publicado nada: como Gilbert, por otra parte, siguió estrictamente el método inductivo y experimental, su obra puede ser considerada como la primera de característica moderna.

Fué en efecto en 1600, que Gilbert publicó su famoso tratado de magnetismo, "De Magnete", en que reunió todas sus observaciones sobre este estudio.

COLON creía que la aguja magnética es atraída por un punto del espacio y, en 1580, un navegante inglés, NORMAN, atribuía el fenómeno a montañas de hierro magnético en el norte del globo.

Gilbert, basándose en que picos de hierro plantados verticalmente en la tierra llegan a adquirir polaridad magnética y que un trozo de hierro se magnetiza cuando se pone en presencia de piedra de imán, dedujo muy naturalmente que la Tierra debía ser un vasto imán, estableciendo así la teoría del magnetismo terrestre. Para proseguir esas investigaciones, construyó una esfera de calamita haciendo recorrer por una pequeña brújula la superficie de este globo terrestre en miniatura.

HARTMANN (Nuremberg 1489-1564) había descubierto, desde 1544, la inclinación de la aguja magnética; NORMAN, en 1576, había inventado la brújula de inclinación; la declinación magnética ya había sido observada por COLON en el curso de su famoso viaje.

Gilbert observó que, en su aparato, la inclinación aumentaba a medida que hacía adelantar la aguja desde el Ecuador hacia el Polo, afirmando pues que varía con la latitud terrestre, y este hecho fué comprobado en 1608, por el célebre navegante HUDSON durante su viaje de exploración por el norte del continente americano.

En cuanto a la declinación, no admitía que varía regularmente con la longitud como lo afirmara COLON, pues es natural que Gilbert no pudo observar dicha variación por medio de su original aparato, y entonces la atribuyó a la forma irregular de la Tierra y a la presencia de los océanos,

que determinan en la superficie del globo, espacios no magnéticos.

Observó, en fin, que el magnetismo del hierro disminuye con el aumento de la temperatura y llega a desaparecer completamente cuando el hierro llega al calor blanco. Estudió muy detenidamente la inducción magnética y estableció que las "emanaciones magnéticas" (líneas de fuerza) forman en el interior del imán líneas paralelas a la línea que une sus polos, y, fuera del imán, arcos que unen dichos polos. Es este el "orbis virtutis" o sea el "campo magnético".

Gilbert no parece haber conocido la obra de PEREGRINO, pero citó las observaciones de su compatriota y contemporáneo NORMAN.

En magnetismo, la obra de Gilbert no fué superada durante más de un siglo.

En electricidad, desde TALES DE MILETO, ninguna observación nueva se había hecho fuera de la de TEOFRASTO, que atribuyó a un cierto mineral, que no se ha podido conocer por sus explicaciones y que el llamaba "linkurión", la misma propiedad eléctrica del ámbar. Gilbert descubrió que todas las piedras preciosas, el vidrio, el azufre, algunas resinas, la fluorina y la sal gema gozan de la misma propiedad o sea que son "cuerpos eléctricos" pero que los metales están exentos de ella y son "cuerpos no-eléctricos". Descubrió el principio del electroscopio; observó que la humedad disminuye la fuerza del flúido eléctrico y empleó la expresión "fuerza eléctrica" que diferenciaba absolutamente del magnetismo; atribuyó en fin la electricidad a "emanaciones más materiales" que el magnetismo.

En óptica, dió una explicación de la formación del arco iris por la refracción de la luz en las gotas de agua, que recuerda la de MOROLICO.

Gilbert tuvo el valor de sus ideas científicas, de allí que no se dejara influenciar por la actitud de la iglesia y admitiera y defendiera abiertamente la teoría heliocéntrica de COPERNICO.

TYCHO BRAHE
(1546-1601)

Influencia del movimiento de la Tierra sobre la caída de los cuerpos.

TYCHO (o TICO) BRAHE, célebre astrónomo danés, de noble familia sueca, nació en Kundstrup (Scania) en 1546 y murió en Praga en 1601. Estudió derecho en Copenhague y Leipzig, pero sólo le interesaban la astronomía, las matemáticas y la química. En Alemania, conoció a Guillermo IV (1), Langrave de Hesse Cassel, de quien se hizo muy amigo.

En 1572, descubrió una nueva estrella de la constelación Casiopea, cosa que pronto lo hizo conocer en el ambiente científico.

La aristocracia danesa trató en vano de impedirle se ocupara de ciencias, por considerar esta actividad poco aristocrática, pero el rey Federico II de Dinamarca, aconsejado por un inteligente canciller, de apellido Oxe, le rogó enseñara en la Universidad y le regaló una isla cerca de Copenhague, una renta de cinco mil escudos, un feudo en Noruega y varias cosas más, merced a las cuales Brahe pudo edificar en su isla un soberbio castillo que denominó Ura-

(1) GUILLERMO IV, landgrave de Hesse Cassel, nació en 1532 y murió en 1592. Fundador del electorado de Hesse Cassel, Guillermo IV fué no sólo un buen príncipe sino también un sabio de gran mérito y la astronomía le debe un importante catálogo de estrellas. Como astrónomo tuvo por colaborador a ROTHMANN y al matemático suizo JUSTO BYRGE (1549-1632).

nienberg (palacio de Urano), con un bien instalado observatorio al que dió el nombre de Stallenberg (palacio de las estrellas).

Su casamiento con una hija del pueblo, que lo hizo muy feliz y le dió ocho hijos, no hizo más que aumentar el descontento de la aristocracia.

Muerto su protector en el año 1596, las persecuciones de la nobleza lo obligaron a abandonar su patria, casi en la pobreza, pues el regente del rey menor Cristián IV lo privó de las pensiones y otros beneficios que Federico II le había otorgado.

Pasó dos años en Alemania y fué a Praga, donde lo llamaba el emperador Rodolfo II, para desempeñar las funciones de alquimista de la corte. Murió en esa ciudad en 1601, rodeado de su familia y de sus colaboradores, entre los cuales se encontraban KEPLERO y FABRICIO (1).

Tycho Brahe, fué un astrónomo de gran valor y un observador notable, pero tuvo la desgraciada idea de creer en la alquimia y en la astrología y de emitir una teoría contraria a la de COPERNICO. Admitía como este, que Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno giran alrededor del Sol, pero creía que el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra. Merece así mismo el honroso título de haber sido el primer astrónomo moderno que estudiara con precisión el movimiento planetario.

Perfeccionó la teoría de la Luna; fué el primero en hacer en sus cálculos todas las correcciones de los errores debidos a la refracción e hizo un sinnúmero de observaciones que lo colocan a la altura de los más grandes astrónomos de la historia y que fueron bien aprovechadas por su colaborador KEPLERO.

---

(1) DAVID FABRICIO, pastor protestante y astrónomo alemán, nació en Hessen en 1564 y murió en 1617; estudió con TYCHO BRAHE en Uranienberg. Tuvo celebridad como astrónomo y astrólogo. Predijo exactamente el día 7 de Mayo de 1617 como el último de su vida y fué en efecto asesinado en esa fecha.

Brahe consideraba como prueba contraria a la teoría de la rotación de la Tierra que una piedra que cae de lo alto de una torre no sufre la desviación que debiera provocar el movimiento de la Tierra. Esta utilización de la observación de la caída de un cuerpo, por errónea que sea, tuvo el mérito de imponer el estudio detenido de la importante cuestión de la caída de los cuerpos.

STEVIN
(1548-1620)

Principios de la hidrostática. Paralelogramo de fuerzas. Plano inclinado. Palanca. Peso del aire.

SIMON STEVIN (STEVENS, en flamenco) célebre matemático, físico e ingeniero belga, nació en Brujas en 1548 y murió en Leyden en 1620.

Muy joven dejó su ciudad natal y continuó sus estudios en Amberes. Luego visitó Polonia, Dinamarca y todo el Norte de Europa. Dejó Bélgica por temor a las persecuciones, pues era protestante, y se estableció en Leyden, cuya Universidad sintió pronto la benéfica influencia de este sabio excepcional.

Mauricio de Nassau se volvió su amigo, lo nombró ministro, intendente de su casa y creó para él el puesto de castrametador del ejército en 1617.

Stevin fué un genio enciclopédico y fué un gran vulgarizador en una época en que los sabios no acostumbraban propagar sus conocimientos. Aunque su fama no haya trascendido al vulgo como la de GALILEO o NEWTON, los historiadores de ciencias descubren continuamente nuevas pruebas de su extraordinario valer.

Sus mayores títulos de gloria consisten en haber sido, con ARQUIMIDES, el que más contribuyó al progreso de

la hidrostática y en haber sido en mecánica el más grande precursor de GALILEO (1).

La hidrostática le interesó particularmente y esto se debe, probablemente, al puesto de ingeniero inspector de diques que ocupaba en Holanda al mismo tiempo que el de maestro de conferencias de Mauricio de Nassau. Confirmó completamente los principios establecidos por ARQUIMEDES: "Un cuerpo sumergido en un líquido pierde en peso, el peso del líquido que desaloja"; "Un cuerpo flotante desaloja con su parte sumergida un peso de agua igual al suyo".

Agregó, sin embargo, a esos principios las importantes proposiciones siguientes:

> "El centro de gravedad de un cuerpo flotante y
> " el centro de gravedad que tenía el volumen de agua
> " por él desalojado se encuentran en una misma ver-
> " tical". "El equilibrio de un cuerpo flotante es más
> " estable cuanto más lejos se encuentre su centro de
> " gravedad debajo del centro de gravedad del agua des-
> " alojada."

Estableció, además, entre otros principios fundamentales, que:

> " La presión de un líquido sobre el fondo del va-
> " so que lo contiene equivale al peso de una columna
> " líquida que tiene por base dicho fondo y por altura
> " la distancia del mismo al nivel, y esta presión es abso-
> " lutamente independiente de la forma del vaso".

Stevin demostró esto teóricamente y experimentalmente. Con este fin realizó las experiencias que se efectúan todavía en nuestros días, en los gabinetes de física: Suspendió de un hilo atado a una balanza, el fondo móvil de un vaso que llenó de agua hasta una altura determinada; luego repitió exactamente la misma operación con otro vaso de forma

---

(1) Véase *"La Mécanique"* de MACH y *"Histoire des sciences mathématiques et physiques, chez les Belges"*, AD. QUETELET.

distinta, pero de fondo igual, y observó que en los dos vasos se necesita el mismo peso para equilibrar la presión ejercida sobre el fondo, aunque las cantidades de agua contenidas sean muy distintas. Demostró lo mismo, por medio de vasos comunicantes de distintas anchuras, en que se equilibran columnas líquidas de altura igual, aunque las cantidades de líquido no sean iguales.

Demostró también, la existencia de una presión de abajo hacia arriba en el líquido, por el conocido experimento siguiente: Se introduce en un líquido un tubo de vidrio abierto en sus dos extremidades, después de haber aplicado en su extremidad inferior un disco de cartón sostenido por un hilo; si se suelta el hilo, se observa que el disco está firmemente aplicado contra el tubo y que si se vierte líquido en el interior del mismo, no se restablece el equilibrio sino en el momento en que el nivel en el interior sea el mismo que en el exterior. Explicó fácilmente con estos conocimientos la famosa "paradoja hidrostática" y estuvo muy cerca de descubrir la prensa hidráulica cuyo invento se debe a PASCAL. Dijo en efecto que: "Una libra de agua colocada en " un tubo estrecho puede ejercer más peso que cien mil li- " bras de agua en un tubo ancho." Esto es lo que se realizó en el experimento del tonel de PASCAL, y aunque aquí se trate sólo de peso y no de presión como en la prensa hidráulica, no se puede negar que Stevin conoció su principio sin llegar a descubrir su valiosa aplicación.

Esta fué la obra realizada por el ingeniero flamenco, en hidrostática.

En mecánica estática, estableció el teorema del paralelogramo de las fuerzas, que da tanta gloria a GALILEO por haberlo introducido en dinámica.

Stevin enunció la ley siguiente: " Tres fuerzas se equi- " libran cuando pueden ser representadas en magnitud y " dirección por los tres lados de un triángulo", lo que es lo mismo que decir que la fuerza representada por el lado mayor es igual a la suma de las otras dos fuerzas o, lo que es lo mismo, que la suma de dos fuerzas representadas por los

lados de un paralelogramo está representada por la diagonal del mismo.

Reconocer que el teorema del paralelogramo de las fuerzas ha sido establecido por Stevin antes que por GALILEO no afecta en nada la gloria de este último, en primer lugar porque Stevin se limitó a emplear su teorema en estática mientras que GALILEO lo llevó a la dinámica, ciencia de la que es justamente considerado como el fundador, y en segundo lugar porque GALILEO no tuvo conocimiento de la obra de Stevin, que fué publicada solamente en flamenco, idioma que el sabio italiano no entendía (1).

En su demostración de la misma ley, Stevin estableció en forma muy original las condiciones del equilibrio de un cuerpo en un plano inclinado (2) tomando como axioma la imposibilidad, o más bien dicho "el absurdo" del movimiento perpetuo.

En su estudio de la palanca, Stevin especificó y amplió el estudio del "momento estático".

Hemos visto anteriormente que los antiguos y sobre todo ARISTOTELES, sospechaban que el aire debía tener peso, pero que sus escasos conocimientos no le permitían comprobarlo. Es presumible que Stevin haya sido el primero que tuvo seguridad de la pesantez del aire; pero fuese él o BENEDETTI, quien también pudo haberlo sospechado, esto no impide considerar a TORRICELLI y PASCAL como los primeros que tuvieron un concepto verdaderamente científico al respecto, y que destruyeron para siempre la ridícula creencia del "horror al vacío" de los peripatéticos,

El sabio que nos ocupa se ha hecho acreedor a inmortal fama por sus numerosos trabajos matemáticos y por haber introducido en álgebra la anotación de las potencias, por un exponente numérico y hasta fraccionario. Entre sus in-

(1) La edición flamenca apareció en 1586 y la primera traducción latina de SNELLIUS recién en 1608, mucho después de haberse publicado los trabajos de GALILEO.

(2) Véase MACH "Mécanique".

geniosos inventos prácticos cabe citar también el del carro de vela, que tanta aplicación tuvo en Holanda y que dió más gloria o, por lo menos, más popularidad a Stevin que sus obras teóricas.

Stevin no publicó más que dos obras, pero los traductores las han repartido en varias, que llevan los títulos siguientes: "Tratado de Aritmética", "Seis libros de Algebra de Diofanto", "Práctica de Aritmética", "Explicación del décimo libro de Euclides", "Cosmografía", "Geografía y Astronomía", "Práctica de la Geometría", "Estática", "Optica", "Fortificación por Esclusas", "Nuevo sistema de fortificaciones", "Castrametación", etc.

De todo lo dicho se deduce que Stevin fué uno de los sabios más grandes de los tiempos modernos y que puede ser colocado al nivel de GALILEO, NEWTON o KEPLERO.

FRANCISCO BACON
(1561-1626)

El método experimental. Los colores. El atomismo. Incompresibilidad de los líquidos. Pesantez. Calor-movimiento. Sus errores.

FRANCISCO BACON nació en Londres en 1561 y murió en la misma ciudad en 1626. Estudió en la Universidad de Cambridge. Agregado a la legación de Inglaterra en Francia, se hizo notar por sus brillantes condiciones y, en 1589, era Consejero extraordinario de la reina Isabel.

Ambicioso e interesado, supo aprovechar sus condiciones para elevarse a los mejores puestos, pero sus bajos sentimientos, su debilidad de carácter, su falta de honestidad, comprometieron bien pronto lo que su inteligencia y ambición habían conseguido.

En 1592, fué miembro del Parlamento, pero su pobreza era tal, que fué encarcelado por deudas; en 1617, fué nombrado guardasellos por el rey Jacobo I, y se casó con una mujer muy rica; en 1618, el rey lo nombró Lord Gran

Canciller, Barón de Verulam y Par de Inglaterra, y, en 1620, Vizconde de San Albano. En 1621, fué acusado por el Parlamento de haber abusado de bienes del Estado y, reconocida su culpabilidad, perdió todas sus dignidades, fué condenado a pagar una multa de cuarenta mil libras, declarado sin derecho para ocupar función pública alguna y encerrado a perpetuidad en la Torre de Londres. Jacobo I, que con su ministro Buckingham había tenido cierta complicidad en el delito cometido por Bacon, supo pagar el silencio que éste guardó durante el juicio, devolviéndole la libertad y concediéndole una pensión de 1.800 libras por año.

Bajo el reinado de Carlos I, se le abrieron otra vez las puertas del Parlamento; pero los sufrimientos morales habían minado sus fuerzas, y murió en 1626.



FRANCISCO BACON

La obra de Bacon es más filosófica que física. Su intención fué escribir una obra grande, en la que hubiera empezado por destruir la ciencia de los peripatéticos, para edificar entonces una ciencia nueva con un método nuevo también. No pudo terminar este plan inmenso, pero publicó dos partes, de las cuales la principal es "Novum Organum",

cuyo título hacía alusión al "Organum" de ARISTOTELES.

Fué evidentemente partidario del método experimental y comprendía perfectamente bien que el método de los antiguos no podía hacer progresar la ciencia; pero esto no basta para darle el título de fundador de la filosofía y de la física moderna, pues, cuando en 1620, publicó su "Novum Organum", que no contiene más que un esbozo de un método nuevo de estudio, GALILEO ya había publicado sus obras, que constituían el hermoso resultado científico de un método ya establecido y la derrota de la filosofía escolástica.

Sus estudios de física son pocos y sobre todo de poca trascendencia. No haremos más que recordar que se le debe una explicación de los colores por la reflexión de la luz, argumentos a favor de la teoría atomística, algunos de los primeros experimentos sobre la incompresibilidad de los líquidos, observaciones sobre la densidad de los cuerpos, la pesantez y la elasticidad del aire y la dilatación por el calor, la reiniciación de los experimentos sobre vibración de las cuerdas en el monocordio y algunas afirmaciones acertadas sobre el eco.

Se ha dado mucha importancia a una idea que emitió sobre el calor, definiéndolo "como un movimiento de expansión y ondulación de las partículas de los cuerpos". Sería en efecto maravilloso pensar que Bacon pudiera, en su época, haber "establecido" lo que tres siglos más tarde se iba a establecer o sea: que el calor es el resultado de un movimiento, una forma de la Energía. Pero, ¿puede darse importancia a una vaga afirmación sobre la cual insiste poco su autor? Y además, ¿puede creerse que Bacon, que tenía conocimientos muy elementales de matemática y de mecánica pudiera ver claramente lo que mecánicos y matemáticos profundos establecieron tres siglos más tarde, después de ardua labor? (1).

(1) Para dar una idea del valor científico que puede atribuirse a la profética afirmación de BACON, reproducimos a continuación pasajes del *"Novum Organum"* en que emitió sus ideas sobre el calor:

Los conocimientos científicos de este filósofo pecaban de superficiales, pues son muchos los errores en que incurrió: negó siempre el movimiento de la Tierra y criticó irónicamente la teoría de COPERNICO; negó lo que HOOKE había muy bien observado, que el sonido se propaga con más intensidad en los metales que en el aire; negó los descubrimientos de GILBERT; ignoró las leyes de la caída de los cuerpos, y en mecánica, en fin, aunque criticaba tanto la ciencia peripatética, admitía la mayor parte de los errores de ARISTOTELES.

La influencia de Bacon sobre los hombres de ciencia de su tiempo fué muy reducida; sólo BOYLE parece haberla sentido. Es innegable, sin embargo, que sus propósitos científicos eran acertados, pues contribuían al descrédito de la ciencia escolástica y a consolidar la fe en el nuevo método científico. Los autores ingleses exageraron sus méritos por espíritu patriótico, pues querían tener un genio similar

---

"Lo que nosotros decimos aquí del movimiento, a saber, que es al calor como el género a la especie, debe entenderse, no en el sentido de que el calor engendra el movimiento o que el movimiento engendra al calor (aunque en ciertos casos lo uno y lo otro sea verdadero) sino en el sentido de que el calor, o en otros términos la "esencia misma" del calor es el movimiento y no otra cosa; pero el movimiento limitado por ciertas "diferencias" que determinaremos más adelante cuando hayamos indicado algunas precauciones útiles para evitar todo error.

. . . .

La comunicación del calor, o sea su naturaleza transitiva, en virtud de la cual una sustancia próxima a un cuerpo caliente se calienta también, no debe ser confundida con la forma o esencia del calórico. Estar caliente o tener capacidad de enardecerse son dos cosas distintas; pues por medio de frotación podéis producir el calórico sin el auxilio de una sustancia caliente.

. . . .

El calor es el movimiento expansivo, por el cual el cuerpo tiende a dilatarse y a ocupar una más grande esfera o un espacio mayor que el que ocupaba antes.

. . . .

El calor es un movimiento expansivo no del conjunto, sino de cada una de las moléculas; de tal suerte que es al mismo tiempo combatido, repercutido, de lo cual resulta una trepidación y esfuerzos incesantes y por la lucha una irritación de donde proviene el furor del fuego. Esta "diferencia" varía especialmente en la llama y en los líquidos en ebullición que son agitados continuamente, se hinchan en pequeñas partes y recaen alternativamente.

a GALILEO, a KEPLERO o a DESCARTES en su influencia sobre la ciencia moderna.

Por otra parte, la vida de Bacon, vida vergonzosa de político arribista y adulón, llena de bajezas y de traiciones, ha sido la causa de una excesiva severidad en la apreciación de su obra científica por muchos autores. Es así que podrían citarse opiniones muy contradictorias de los más grandes autores acerca de la obra de Francisco Bacon, desde el elogio ditirámbico hasta la crítica la más despectiva o la más violenta. El poeta Pope reunió esos extremos en este juicio: "Bacon fué el más sabio, el más brillante y el más vil de los hombres".

Para el historiador de ciencias, Bacon fué un filósofo que comprendió la necesidad de renovar el método científico, que supo admirar la obra de ARISTOTELES y despreciar la degenerada y estéril filosofía escolástica en su pretensión de estereotipar y prolongar indefinidamente esa obra, que supo defender la inducción contra el silogismo, pero que se limitó a "disertar" sobre este tema, mientras que GALILEO y KEPLERO lo llevaban a una fecunda realidad. No fué pues tan sólo "un charlatán que pregona el ungüento con que pretende resucitar a los muertos", como lo afirmara LIEBIG.

Véase en las sustancias de una contextura tan fuerte que no se hinchan cuando se les calienta y se las lleva al rojo y que no experimentan casi dilatación sensible, como el hierro rojo, cuyo calor es muy intenso.

"La tercera diferencia" es común al calor y al frío; el movimiento contractivo del frío es combatido por una reacción expansiva.

. . . .

De este "primer caudal de hechos" resulta que la forma o la definición verdadera del calor (considerado en sí y no relativamente a nuestras sensaciones) puede ser expresada así en pocas palabras:

El calor es un movimiento expansivo, combatido y que opera en las moléculas del cuerpo. Al carácter de la expansión es preciso añadir que es "un movimiento del centro a la circunferencia junto a otro movimiento de abajo a arriba". A este otro carácter del movimiento, acción molecular, es preciso añadir que la acción se opera sin lentitud, con una cierta rapidez y hasta con impetuosidad".

(Extraído de "Calor, Modo de Movimiento" de TYNDALL).

GALILEO
(1564-1642)

La lucha contra la Escolástica. Sistema de Copérnico. Creador del método experimental. El invento del anteojo astronómico. El binóculo. El péndulo. La caída de los cuerpos. Independencia de fuerzas. Composición de los movimientos. Movimiento de los proyectiles. Principio de las velocidades virtuales. El momento. Concepto de fuerza. Hidrostática. Hidrodinámica. Acústica. El choque. Historia del termómetro. El microscopio.

GALILEO GALILEI, nació en Pisa el 18 de Febrero de 1564, día en que murió Miguel Angel, y murió el 8 de Enero de 1642, cerca de Florencia.

Su padre, Vicente Galileo, gentilhombre florentino de noble familia arruinada, era muy aficionado a las matemáticas, a la literatura antigua y a la música, sobre la cual dejó una obra muy interesante titulada "Diálogo sobre música antigua y moderna". Fué el primer maestro de su hijo y descubrió en él tantas aptitudes que decidió hacerle estudiar medicina, aunque le costara grandes sacrificios, pues era muy pobre, pero lo hizo confiando en que algún día podría ayudar a sus hermanas y hermanos.

A los diez y siete años, Galileo pasó de Florencia donde residía su familia, a Pisa, su ciudad natal, donde siguió los cursos de medicina y de filosofía en la Universidad. Sus compañeros le dieron el nombre de "discutidor" por sus continuas discusiones con sus profesores; pues su espíritu travieso, meticuloso y amplio a la vez, no podía admitir los estrechos razonamientos escolásticos de sus maestros.

Merece ser recordada aquí la anécdota según la cual, Galileo demostró a los estudiantes la inexactitud de la afirmación de sus profesores — basada en ARISTOTELES — de que la velocidad de caída de los cuerpos es proporcional a su peso, haciendo caer pesos muy distintos desde lo alto de

una torre y a los pies mismos de varios profesores que pasaban en aquel momento.

Fué en Pisa que, en 1583, estando en la Catedral, la atención de Galileo fué detenida por un lustro que se balanceaba en el extremo de su cadena y, pareciéndole que sus oscilaciones se hacían en un mismo tiempo aunque su extensión disminuía cada vez más, verificó el hecho midiendo el tiempo por sus propias pulsaciones. Volvió a su casa, colgó de un hilo una esfera metálica, repitió el experimento, aumentó el peso de la masa colgada, cambió la longitud del hilo...



GALILEO GALILEI

Galileo, el fundador del método experimental, uno de los genios más brillantes de las ciencias, había iniciado su gloriosa carrera.

Es de notar que, en aquella época, Galileo desconocía casi por completo las matemáticas. ATILIO RICCI, profesor de matemáticas en la Corte de Toscana, pasó algún tiempo en Pisa y le dió clases de Geometría, aconsejándole

la lectura de EUCLIDES y de ARQUIMEDES. El "Tratado de los Cuerpos Flotantes" le hizo inventar la balanza hidrostática; pero Galileo consideró que esta idea se deducía tan naturalmente de la obra del célebre geómetra siciliano, que afirmó que éste debía haberlo conocido. (Véase ARQUIMEDES).

Sus rápidos progresos en matemáticas — materia por la cual descuidó sus estudios de medicina — interesaron al marqués Guido Ubaldo quien, por intermedio de su hermano el cardenal del Monte, lo recomendó a Fernando I de Médicis, gran duque de Toscana, por quien Galileo fué nombrado profesor de matemáticas en Pisa, en 1589. Allí pudo al fin el "discutidor" establecer su método basado en la experiencia y atacar desde su cátedra las obras de ARISTOTELES y los grandes discursos de los escolásticos, que trataban de ocultar su ignorancia bajo una lluvia de palabras sin sentido. Fué en esa época que realizó sus primeros experimentos sobre la caída de los cuerpos. La descollante aptitud del nuevo profesor, hizo nacer la envidia de sus colegas, que no tuvieron dificultad alguna en obligarlo a abandonar su puesto, ya que había cometido el crimen de levantar la voz contra el dogma peripatético.

Abandonó su ciudad natal, y su protector el cardenal del Monte pudo hacerle ocupar la cátedra de matemáticas en la Universidad de Padua (1592). Allí, mejor que en ninguna parte, estaba Galileo en plena libertad para hacer sus experimentos, libre de las amenazas del clero, pues la República de Venecia estaba en lucha con el papa.

Prosiguió entonces sus estudios de la caída de los cuerpos, empezados en Pisa; inventó el compás de proporción; construyó un termómetro, una máqina hidráulica (1504) y un anteojo (1609); estudió los imanes e hizo sus grandes descubrimientos de astronomía en los que fué ayudado por su amigo y protector FRA PAOLO SARPI (1), erudito que

(1) FRA PAOLO SARPI, monje, historiador y erudito veneciano, nació en 1552 y murió en 1623. Estudió en Venecia y luego en Mantua, donde fué teólogo del duque de Mantua y profesor de teología. Entró en la orden de los Servitas en 1570 y al año siguiente, elegido provincial,

desempeñó un importantísimo papel en la política de la República Veneciana.

En 1609, Fernando I, Duque de Toscana, murió, y su hijo Cosme II, que había sido discípulo de GALILEO, se apresuró, al subir al poder, a ofrecer a su ex-maestro ventajosas condiciones para que volviera a Pisa, que tan injustamente había debido abandonar. Los venecianos hicieron todo lo que pudieron para retener entre ellos al glorioso sabio, pero éste — demostrando con ello cierta ingratitud y no menos imprudencia — volvió en 1610 a ocupar el puesto de profesor de matemáticas de la Universidad de Pisa y de matemático y filósofo de la Corte de Toscana.

Prosiguió allí sus estudios astronómicos y, en 1612, construyó un microscopio.

Hacía frecuentes viajes a Roma donde visitaba al Príncipe Cesi (2), que lo hizo nombrar miembro de la "Accademia dei Lincei". En Roma, tenía numerosos enemigos en el clero, y cuando empezó a defender abiertamente el sistema de COPERNICO que MAESTLIN (3) le había hecho adoptar, todos los peripatéticos y el clero atacaron con ener-

se fué a Roma donde se hizo amigo de varios cardenales y fué muy bien considerado por el papa Sixto V. Publicó entonces importantes obras de ciencias naturales, hoy perdidas, en que daba cuenta de sus descubrimientos: la circulación y la dilatación de la úvea en el ojo, etc. Se ocupó de astronomía, mecánica y magnetismo en que estudió antes que GILBERT las variaciones de la aguja magnética. En 1606, teólogo canonista de Venecia, desempeñó un importantísimo papel político en la lucha entre el pontífice Pablo V y la República. Los italianos le atribuyeron erróneamente el descubrimiento del termómetro que sólo conoció en 1617, varios años después de ser empleado por el belga VAN HELMONT y el holandés DREBBEL.

(2) El PRINCIPE FEDERICO CESI, duque de Agua Sparta, nació en Roma en 1585 y murió en 1630. Protector de las ciencias fundó en Roma la "Accademia dei Licei" (Academia de los linces) en la que hizo ingresar a GALILEO en 1611. Naturalista de gran valor, publicó interesantes ediciones de las raras obras sobre plantas y animales de Méjico que el naturalista español FRANCISCO HERNANDEZ había escrito de 1571 a 1577 en ese país.

(3) MAESTLIN, astrónomo alemán, ferviente partidario de la teoría de COPERNICO, nació en Wurtemberg en 1550 y murió en 1631. Fué profesor de KEPLERO y convenció a GALILEO de la exactitud de la teoría heliocéntrica. Se le debe en astronomía la explicación de la luna cenicienta.

gía al nuevo sistema aunque poco lo entendieran y aunque no se hubieran preocupado de él sino desde el momento en que Galileo tomara su defensa. Muchos eclesiásticos tomaron partido por el sistema helicocéntrico, entendiendo que no se oponía a la religión y que era imposible impedir la marcha de tan hermosa idea; pero la mayoría del clero, sin embargo, la acusó de herética y el Papa Pablo V dejó la Congregación del Indice, libre de decidir lo que mejor le pareciera. El 5 de marzo de 1616, dicha congregación suspendió las obras de COPERNICO como falsas y herejes y prohibió la publicación de cualesquiera obras que no las consideraran como enemigas de la religión.

Galileo abandonó Roma y volvió a Florencia y, en 1617, imaginó su "binóculo". En 1621, perdió a su protector y amigo, el Duque Cosme II de Médicis, y se retiró a su villa de Arcetri, cerca de Florencia, donde no se ocupó más que de sus trabajos científicos y especialmente de una obra de defensa del sistema cosmogónico de COPERNICO.

En 1623, murió el sucesor de Pablo V, Gregorio XV, y fué reemplazado por Urbano VIII. Este pontífice, anteriormente cardenal Matteo Barberini, era aficionado a la poesía y había cantado en sus versos los grandes descubrimientos astronómicos de Galileo a quien admiraba y conocía personalmente. En 1624, el nuevo pontífice recibió la visita del sabio y le hizo tales demostraciones de aprecio que el filósofo pudo creer que ya no debería temer la oposición del Vaticano. ¡Grande era su error! En 1632, publicó en Florencia su defensa de COPERNICO a la que había dado la forma de una conversación entre dos copérnicos, Sagredo y Salviati, con Simplicio, un tonto que tomaba torpemente la defensa del sistema de PTOLEMEO. Aunque esta obra tenía el permiso de publicación de la Congregación del Indice, que había pasado la censura de la Inquisición recibiendo la aprobación del Inquisidor General de Florencia, y que contenía muchas demostraciones de fe y de respeto hacia la religión, levantó una tormenta de

protestas por parte de los escolásticos y de los jesuítas, que pedían a gritos que se castigara a su autor (1).

El Papa opuso alguna resistencia en perseguir la obra, pero insistieron tanto en convencerlo de que era un insulto a la religión y le hicieron tan insidiosamente creer que Simplicio, el torpe y burdo discutidor, no era sino su propia caricatura, que se decidió a someterla al estudio de una comisión de sabios astrónomos, teólogos y matemáticos. Estos fallaron naturalmente en contra de la obra y ordenaron a su autor de comparecer ante la Inquisición. La Corte de Toscana influyó entonces a favor de Galileo, haciendo numerosas gestiones ante el Papa por intermedio del embajador de Toscana en Roma, fiel amigo de Galileo. La Santa Sede insistió en exigir la presencia del sabio en Roma. Galileo buscó protectores, envió certificados médicos para demostrar su precario estado de salud; sólo obtuvo aplazamientos, pero la decisión se mantuvo irrevocable. Por fin, un llamado se hizo amenazador y Galileo vióse obligado a emprender viaje. Llegó a Roma el 13 de Enero de 1633 y se alojó en el Palacio del embajador de Toscana, donde, por orden de la Santa Sede, fué mantenido incomunicado, haciendo observar el Papa que, al darle tal autorización en lugar de encarcelarlo en la prisión del Santo Oficio, usaba con él de una clemencia con la que no había favorecido "ni a los mismos príncipes". En junio de 1633, después de un encierro de unos quince días en la cárcel de la Inquisición, Galileo fué conducido ante el Tribunal de la Santa Sede, donde lo hicieron arrodillar y decir:

(1) El primer eclesiástico que atacara a GALILEO fué el padre CACCINI, dominicano de San Marco que, predicando en Florencia, trató de herejes a los partidarios del movimiento de la Tierra y aludió directamente a GALILEO, con un singular juego de palabras, recordando el versículo del Acta de los Apóstoles: "Viri Galilœi qui admiramini, etc."

Sin embargo algunos eclesiásticos como el carmelita FOSCARINI y el dominicano español DIEGO DE ZUÑIGA pretendieron d mostrar que la Biblia autorizaba creer en el movimiento de la Tierra. Debe recordarse también una carta del jesuíta P. GREMBERGER, profesor de matemáticas del Colegio Romano, en la cual aseguraba que si GALILEO hubiese buscado la protección de los jesuítas hubiera escrito cuanto quisiera "aun acerca del movimiento de la Tierra".

"Yo, Galileo Galilei, florentino, de setenta años
" de edad, constituído personalmente en juicio y arro-
" dillado ante vosotros, eminentísimos y reverendísi-
" mos cardenales de la Iglesia Universal Cristiana, in-
" quisidores generales contra la malicia herética, te-
" niendo ante mis ojos los santos y sagrados Evange-
" lios, que toco con mis propias manos, juro que he
" creído siempre y creo ahora, y que, Dios mediante,
" creeré en el porvenir, todo lo que sostiene, practi-
" ca y enseña la Santa Iglesia Católica Apostólica
" Romana. He sido juzgado vehementemente sos-
" pechoso de herejía por haber sostenido y creído
" que el Sol era el centro del mundo e inmóvil, y que
" la Tierra no era el centro y que se movía; por eso hoy,
" queriendo borrar de las inteligencias de vuestras emi-
" nencias y de la de todo cristiano católico esta sos-
" pecha vehemente concebida contra mí con razón, y con
" sinceridad de corazón y una fe no fingida, abjuro,
" maldigo y detesto los antedichos errores, y, en ge-
" neral, todo otro error..."

Era además condenado a prisión perpetua, pero el Papa Urbano, sintiendo todo lo odioso de la actitud del poder eclesiástico, conmutó esa pena por la de reclusión en la casa-quinta de los Médicis de donde autorizó a Galileo a pasar a la casa de su amigo, el arzobispo Piccolomini, y en fin, a su casa de Arcetri, aunque siempre con grandes restricciones a su libertad, y una vigilancia continua no exenta de vejámenes.

Es de justicia recordar que Urbano influyó siempre para que el ilustre sabio no fuera tratado con máximo rigor y esto hace presumir que Galileo no haya sido torturado durante su encierro. Por grande que sea la admiración que se profese a Galileo, se puede lamentar — como lo hace su biógrafo CHASLES — que no se haya rebelado contra la imposición del Tribunal y que no haya tenido la valentía de GIORDANO BRUNO; pero debe recordarse que era un anciano enfermo sobre quien se encarnizaban tenaces y crueles enemigos.

Agrega la leyenda que, después del acto, Galileo se levantó y en un arranque de rebeldía murmuró: "E pur si muove" ("y sin embargo se mueve"). Difícil es creer que haya podido expresar este pensamiento, aunque indudablemente lo tenía, pues estaba rodeado de enemigos que hubieran inmediatamente denunciado el hecho para poder obligar al Papa a castigar más severamente aún a aquel que se había burlado de su crasa ignorancia y los había caracterizado tan bien en la figura de Simplicio. En el mes de setiembre, la libertad fué devuelta al venerable anciano, que se retiró de nuevo a Arcetri donde terminó, en 1634, su famosa "Teoría de la Mecánica" e hizo sus últimas observaciones astronómicas. Pero la desgracia parecía perseguirlo. En 1634, perdió una de sus dos hijas; en 1637, se volvió completamente ciego, y grandes sufrimientos físicos lo abatían; en 1640, se volvió sordo y murió en Enero de 1642.

La obra de Galileo marca el principio de una era nueva de la ciencia, no sólo por haber creado el método experimental, sino también por sus descubrimientos en astronomía, en óptica y sobre todo en mecánica.

Se ha pretendido discutirle el título de creador del método experimental, citando nombres de sabios anteriores que daban como él mucha importancia al experimento. Es indudable que ROGERIO BACON, ALBANO, FRANCISCO BACON, CARDANO, PORTA, BENEDETTI y STEVIN reconocían el valor del experimento para confirmar una observación. Los griegos mismos no desconocían la experiencia por completo, pero hubieran considerado que rebajaban su razonamiento puramente espiritual sometiéndolo a observaciones hechas por medio de aparatos. Ningún predecesor de Galileo pudo como él desprenderse completamente de los prejuicios, de la superstición, de los términos y conceptos metafísicos a que eran tan afectos los escolásticos; ninguno tuvo la fuerza suficiente para rechazar radicalmente todo lo que no fuera inspirado por la razón y aprobado por la experiencia.

En astronomía, sólo citaremos algunos de los descubrimientos principales del gran pisano. Su estudio de la Luna es el más completo hasta la época; aunque no descubrió su libración ya observada por KEPLERO (1621) ratificó los cálculos de éste (1639); observó sus montañas, cuya altura midió por el procedimiento usado aún en nuestros días; atribuyó la luz de la Vía Láctea a una multitud de pequeñas estrellas; descubrió los cuatro primeros satélites de Jupiter, el anillo de Saturno, las manchas y las fáculas del Sol, que le permitieron determinar la duración de su movimiento de rotación; las fases de Venus y de Marte; observó las variaciones aparentes del diámetro de este último planeta; hizo numerosas observaciones sobre los cometas, las nebulosas, etc.

Pero es interesante recordar que tal era, en aquella época, la fe ciega en la ciencia aristotélica que muchos astrónomos se rehusaban en admitir la existencia de lo que Galileo les hacía ver a través del anteojo porque no constaba en las obras del filósofo griego.

En óptica, debemos estudiar los derechos de Galileo al invento del anteojo y del microscopio, pero debemos recordar antes, que Galileo no creyó en la trasmisión instantánea de la luz sino en su gran velocidad de propagación y propuso un método de medida de esa velocidad que aplicó en vano la ACADEMIA DEL CIMENTO.

Los ingleses atribuyen generalmente el invento del anteojo a ROGERIO BACON; los italianos a PORTA y a Galileo; los holandeses a LIPPERSHEY y a ZACARIAS JANSEN; DESCARTES lo atribuyó al holandés JACOBO MECIO (1) y, en fin, no faltan autores que lo atribuyen a los chinos y árabes. Ya hemos visto que ROGERIO BACON tuvo una clara visión de la posibilidad de construir un anteojo, pero esto no es suficiente para considerarlo como su inventor. No es tampoco sin razón alguna

(1) JACOBO METIUS o MECIO (Alkmaar ?-1624 o 1633), matemático holandés como su hermano ADRIANO (1571-1635), que fué discípulo de TYCHO BRAHE.

que los italianos atribuyen a PORTA el invento del importante instrumento. Este físico escribió en efecto, en su "Magia Natural" publicada en 1589 que "A través de un vi-
" drio cóncavo se perciben distintamente los objetos ale-
" jados y a través de un vidrio convexo los objetos
" cercanos. Combinando convenientemente estos dos vi-
" drios se pueden aumentar y ver distintamente tanto
" los objetos cercanos como los que están lejos."
Agregaba: "De este modo he hecho grandes servicios
" a amigos cuya vista era mala."

Si es verdad que PORTA haya construído tal instrumento no merece tampoco por ello ser considerado como inventor del anteojo astronómico, pues habla sólo de un débil aumento que no sirvió más que a "amigos cuya vista era mala"; pero fué evidentemente uno de los principales precursores. En cuanto a Galileo, se le puede considerar como el gran perfeccionador del instrumento, pues todos están de acuerdo en admitir que construyó sus magníficos anteojos, que aumentaban más de treinta veces, guiado sólo por vagas indicaciones recibidas de Holanda en 1609 (LIBRI. Hist. des Math. Tomo IV, pág. 204).

Afirma el mismo Galileo en "El Correo Celeste" ("Nuntius Sidereus") de 1610:

> "Hace unos diez meses que se me dijo que cierto
> " holandés había imaginado un anteojo con cuyo auxi-
> " lio se veían los objetos lejanos tan claramente como
> " si estuvieran cercanos. Este instrumento servía ya pa-
> " ra hacer algunas observaciones a las que unos da-
> " ban crédito mientras que otros las negaban. Confir-
> " móseme todo esto en una carta que recibí de París.
> " Por ello me dediqué por completo al medio de llegar
> " a la invención de un instrumento semejante..."

Algunos autores pretenden, sin embargo, que en aquel año Galileo vió uno de esos instrumentos, que había sido importado de Holanda a la República de Venecia. La cuestión más difícil de resolver para los historiadores ha sido la elec-

ción del verdadero inventor entre los tres holandeses: MECIO, JANSEN y LIPPERSHEY, y no fueron sino en los primeros años del siglo XIX que se pudieron reunir pruebas suficientes para llegar a la conclusión de que LIPPERSHEY (nació en Wesel y murió en Middelburg en 1619) merecía sólo este honor. Se probó fácilmente que DESCARTES se había equivocado al indicar a JACOBO METIUS (MECIO), pues se encontró una carta de éste en la cual decía, en 1608, que había construído un anteojo más perfecto y de mejor resultado que el que había sido presentado al Parlamento holandés por un anteojero de Middelburg. Eliminado MECIO y con el dato de que, en 1608, un óptico de Middelburg había presentado un anteojo al Parlamento, habría sido fácil la elección entre LIPPERSHEY y ZACARIAS JANSEN, si no hubieran sido ambos en la misma época anteojeros en la misma ciudad. Otro documento en fin, encontrado en La Haya, resolvió la cuestión a favor de LIPPERSHEY: era un pedido de patente elevado por éste al Parlamento, en 1608, para la fabricación del instrumento que había presentado. Agreguemos que KEPLERO dejó indicaciones preciosas sobre la construcción de anteojos astronómicos, y aunque él no las puso en práctica, fueron seguidas después de su muerte y dieron resultados tan eficaces que no es posible comparar el instrumento así perfeccionado, con los que construyeron los holandeses y Galileo.

En 1617, Galileo inventó su anteojo binocular que no es más que el gemelo de teatro que empleamos aún y que no tiene mayor importancia desde el punto de vista científico.

No son menos numerosos que para el anteojo, los supuestos inventores del microscopio compuesto, y es más difícil aún establecer los méritos de cada uno de ellos. FONTANA, jesuíta italiano (nació en Nápoles en 1580 y murió en 1656) reivindicó inútilmente derechos, pues lo hizo en 1648, unos treinta años después de ser conocido el instrumento. Los argumentos que se trajeron a favor del holandés CORNELIO DREBBEL (1572-1634) no fueron tomados más en cuenta, pues también carecen de valor. Ga-

lileo costruyó un buen microscopio simple, en 1612, pero este invento no es absolutamente original, pues sólo constaba de una lente montada sobre un pie y colocada en un tubo, y hemos visto ya que SENECA conocía el poder de aumento de un globo de vidrio lleno de agua y que se encontraron lentes de aumento de vidrio en las tumbas romanas y ruinas de ciudades antiguas. Lo más interesante de esta indicación sería que el célebre sabio pisano habría sido el primero en aplicar este aparato a investigaciones científicas. Más tarde, habla de "un pequeño telescopio que hace ver los objetos muy cercanos" y esto permite presumir, sino que ha inventado el microscopio compuesto, que fué el primero en construirlo en Italia. En este último caso, el verdadero inventor sería el holandés ZACARIAS JANSEN, oculista en Middelburg, de quien acabamos de hablar como presunto inventor del anteojo astronómico.

Mucho más importante que los astronómicos y ópticos, son los descubrimientos de mecánica hechos por Galileo, como el estudio del movimiento del péndulo, las leyes de la caída de los cuerpos, la ley de la inercia, la independencia de las fuerzas, la composición y descomposición de las fuerzas por la regla del paralelogramo, la caída de los cuerpos en un plano inclinado, el movimiento de los proyectiles, el principio de las fuerzas virtuales, el movimiento uniformemente acelerado y retardado, etc. etc.

Hemos visto que su primera observación interesante ha sido la del movimiento de un péndulo compuesto en la que se dió cuenta del isocronismo constante de sus oscilaciones, de la independencia de su movimiento con su peso y su naturaleza, y en fin que el tiempo de oscilación es proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del péndulo (1).

(1) En los "Diálogos", GALILEO pone en boca de SALVIATI los siguientes términos para explicar su descubrimiento sobre el movimiento del péndulo: — *"Yo digo que si apartamos el péndulo de la vertical de* 1, *de 2 o de 3 grados solamente; que si después lo apartamos de* 70, *de* 80 *y hasta de un cuarto de círculo, él hará, dejándolo en libertad, oscilaciones con igual frecuencia en los dos casos, o sea cuando este péndulo recorre arcos de* 2º *a* 4º *y cuando los describe de* 160º *y más. Se verá esto cla-*

Más tarde HUYGHENS corrigió esa ley del isocronismo, demostrando que sólo es exacta cuando la oscilación es muy pequeña o cuando el péndulo describe arcos de cicloide en vez de arcos de círculo, descubrimiento en el cual colaboró MERSENNE ya por observación propia, ya por relato de observaciones ajenas.

Galileo se dió cuenta de la importancia de su descubrimiento para la medida del tiempo y empleó a veces el péndulo como cronómetro en sus observaciones de física y de astronomía y hasta en medicina, aunque generalmente conservó el uso de aparatos de agua. Inventó, en 1620, un contador de segundos, pero fué HUYGHENS el que supo aprovechar prácticamete su idea cuando dió al péndulo la energía necesaria para seguir su movimiento, inventando así el reloj de péndulo.

La independencia entre el peso del péndulo y el movimiento de oscilación, infundió en Galileo la idea de que el peso de un cuerpo que cae libremente no debe tampoco influir sobre su movimiento, y allí se encontró en completo antagonismo con la teoría peripatética, la que iba a destruir con sus asombrosos descubrimientos, bases de una ciencia nueva: la dinámica.

ARISTOTELES creía que la velocidad de la caída de un cuerpo es directamente proporcional a su peso y al espacio recorrido; que su movimiento debe ser uniforme, pues, es "movimiento natural", y que el aire le impone constantemente un aumento de velocidad. Galileo estableció experimentalmente las leyes de la caída de los cuerpos, que están en todos sus puntos en oposición con la creencia peripatética. Demostró que la velocidad de la caída de los cuerpos es igual para todos, cualquiera sea su peso; que no es proporcional al espacio recorrido sino al tiempo empleado; y estableció la ley según la cual los espacios recorridos por

ramente si, después de haber suspendido pesos iguales de dos hilos del mismo largor, se les aparta de la vertical, uno muy poco y el otro mucho. Estos pesos, abandonados a sí mismos, irán y volverán en tiempos iguales, éste por pequeñas amplitudes y aquél por amplitudes muy grandes".

el cuerpo cadente son proporcionales a los cuadrados de los tiempos durante los cuales han sido recorridos. Demostró que el aire no aumenta la velocidad de la caída sino, bien al contrario, la disminuye, y que el movimiento de la caída no es naturalmente uniforme sino naturalmente acelerado.

Debe recordarse aquí que, simultáneamente con Galileo, el filósofo y patriota calabrés TOMAS CAMPANELLA (1568-1639) ya había expresado con toda claridad en 1591: "De los cuerpos igualmente pesados, el más pequeño cae más ligero que el grueso porque la resistencia del aire lo contraría menos. Pero en el vacío todos los cuerpos caen con la misma velocidad."

Galileo observó el hecho antes de 1591, pero le dió toda su importancia y lo expresó con absoluta claridad cuando, en 1638, volvió a estudiar esos problemas de mecánica.

Además de las leyes de la caída de los cuerpos, descubrió la ley de la inercia, completamente opuesta también al concepto peripatético del movimiento. Este consistía en la creencia de que el movimiento de un cuerpo tiende a abandonarlo como lo hace el calor y que, para mantenerlo en un cuerpo, es necesario devolvérselo continuamente. Galileo, al contrario, dijo que: "El grado de velocidad adquirida por
" un móvil es por naturaleza inmutablemente impreso
" siempre que las causas exteriores de detenimiento o
" aceleración sean suprimidas. Esto pasa en el plano
" horizontal, donde el movimiento es eterno, pues es
" uniforme y no es disminuído y mucho menos supri-
" mido."

KEPLERO había ya establecido que: "Un cuerpo en " reposo no puede por sí mismo ponerse en movimiento" y Galileo completó la ley de la inercia agregando que, recíprocamente, "un cuerpo en movimiento no puede llegar al "reposo sino por la acción de una causa externa".

Galileo fué pues conducido al estudio de la caída de los cuerpos, por el del movimiento del péndulo, considerando la oscilación como una verdadera caída. Para probar

experimentalmente las leyes que acabamos de citar, hacía caer cuerpos de lo alto de la torre inclinada de Pisa y continuó esas observaciones en Padua. No es de extrañar que no insistiera sobre la influencia del aire en la caída porque los cuerpos que eligió, eran de alta densidad; ni que no se diera cuenta de la variación de la magnitud de la gravedad por la latitud y la altura, pues realizó sus experimentos desde poca altura y a latitudes muy cercanas.

Si en nuestros días una medida exacta del movimiento de caída de un cuerpo es casi irrealizable, aunque se empleen máquinas como la de ATWOOD (1) o la de MORIN, en el tiempo de Galileo debía ser imposible. El genial sabio pensó entonces en disminuir la velocidad del cuerpo cadente por medio de un plano inclinado. Su estudio del péndulo ya le había probado que, cuando un cuerpo cae verticalmente o por medio de un péndulo, su velocidad en un punto determinado es la misma para una misma altura de caída. Dedujo fácilmente que si, en vez de recorrer un arco de círculo como en el movimiento pendular, el cuerpo recorriera la cuerda de este arco como en un plano inclinado, tendría idéntica velocidad en el punto inferior, y lo comprobó sin dificultad haciendo rodar, en una ranura practicada en un plano inclinado, una esfera de estaño bien pulida, que al llegar a la parte inferior del plano, volvía a subir por sí misma la misma altura en otro plano inclinado opuesto, exactamente como un péndulo, que después de recorrer un arco descendente, sigue recorriendo un arco ascendente de magnitud igual. Adquirió el convencimiento de que la caída de un cuerpo en un plano inclinado de inclinación cualquiera, sigue la misma ley que la caída vertical, no tomándose en cuenta la resistencia del aire y el frotamiento, y que la única diferencia consiste en el tiempo de duración de la caida. Pudo desde entonces emplear el plano inclinado para comprobar experimentalmente las leyes de la caída de los cuerpos, leyes que había establecido sólo por razonamiento.

---

(1) JORGE ATWOOD (1745-1807), físico y matemático inglés.

Estudió también la composición de los movimientos y estableció que:

> "Si dos fuerzas de misma dirección, sentido
> " contrario y magnitud igual se aplican a un cuerpo, és-
> " te queda en reposo."
>
> "Dos fuerzas de misma dirección y sentidos con-
> " trarios causan en un cuerpo un movimiento en el sen-
> " tido de la fuerza mayor y de magnitud proporcional a
> " su diferencia."
>
> "Dos fuerzas de misma dirección y mismo senti-
> " do suman sus efectos."

Estableció, en fin, la ley del paralelogramo de las fuerzas ya indicadas por STEVIN en estática:

> "Si dos fuerzas concurrentes se ejercen sobre un
> " cuerpo, éste recorre la diagonal del paralelogramo
> " formado por las rectas que representan esas fuerzas
> " en dirección y magnitud."

Basándose en estas leyes, Galileo estudió el movimiento de los proyectiles, que ya había preocupado a CARDANO y a TARTAGLIA. Desde ARISTOTELES y hasta el siglo XVI, se consideró la trayectoria de un proyectil lanzado oblicuamente, como formada por tres partes: primero, movimiento violento de ascensión y rectilíneo, luego un movimiento mixto, horizontal, o en forma de arco de círculo, y por último un movimiento tangente al anterior, descendente y rectilíneo, que recibía el nombre de movimiento natural. (Véase ARISTOTELES). TARTAGLIA descubrió, en 1536, que la trayectoria es completamente curvilínea y que su alcance mayor se logra cuando se larga el proyectil con una inclinación de 45 grados. En 1561, SANBECK estableció sin embargo una teoría de balística fundada en el principio erróneo de que el proyectil lanzado oblicuamente se eleva rectilíneamente en el aire hasta perder toda su fuerza, y después cae verticalmente. En 1569, CARDANO habla de la resistencia del aire sobre el movimiento de los por-

yectiles, pero no establece nada nuevo en cuanto a la forma de la trayectoria. Galileo entendió que la gravedad cambia constantemente la dirección del proyectil dando a su trayectoria una forma curvilínea y que, efectuando la composición del movimiento uniforme inicial con el movimiento uniformemente acelerado que imprime al cuerpo la gravedad, se determina una parábola. Llegó, como TARTAGLIA, a la conclusión de que la amplitud de la trayectoria varía según la inclinación del movimiento inicial y que es máxima cuando esta inclinación es de 45 grados. En esta observación, como en las anteriores, no tomó en cuenta la resistencia del aire, pues en este caso debería considerarse como inclinación de máxima amplitud la de 43 ó 44 grados.

Basándose en el mismo principio, Galileo estudió el movimiento de un proyectil lanzado verticalmente, de abajo hacia arriba, resolviendo así el problema del movimiento uniformemente retardado por la pesantez.

Galileo ha dado toda su importancia, considerándolo como la propiedad general del equilibrio de las máquinas, al principio de las velocidades virtuales, que, como lo hemos visto, era conocido por los antiguos y del que habla claramente ARISTOTELES, y dijo que en todas las máquinas que se puedan inventar, lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.

Galileo empleó indiferentemente, bajo el término común de "momento", el momento = peso por velocidad, y el momento estático = distancia por fuerza. (Véase BURIDAN).

Galileo dió absoluta precisión al concepto del momento estático ya concebido por ARQUIMEDES y HERON, y expresó que "Dos fuerzas están en equilibrio cuando sus momentos son iguales". En este enunciado, Galileo siempre se refería a fuerzas paralelas; JUAN BERNOULLI fué quien lo extendió a fuerzas de todas direcciones.

Galileo hizo un gran esfuerzo para llegar a un concepto más preciso de la "fuerza", que, en sus primeras obras, se limitaba a una palabra vana e indefinida que se confundía con la de "peso", pero que luego distinguió de "impul-

so" por ser la fuerza causa de aceleración mientras el impulso es causa de velocidad inicial.

Pero esos conceptos fundamentales estaban lejos de ser dilucidados en la época de Galileo y es así que el gran florentino confundía frecuentemente masa, materia y peso, como siguieron confundiéndolos DESCARTES y NEWTON y, mucho menos, HUYGHENS.

Aunque realizó su inmortal obra mecánica siendo muy joven, Galileo no la publicó sino en 1638, casi al fin de su vida.

En hidrostática e hidrodinámica, su obra no puede ser comparada con la que realizó STEVIN, pero debe destacarse que expresó claramente su idea de la constitución de los líquidos, idea que poco ha variado desde entonces, pues se los figuraba formados por moléculas esféricas sometidas a la pesantez y sumamente movibles las unas con relación a las otras.

Hemos visto que muchos físicos, aun entre los antiguos, habían tratado de pesar el aire y que STEVIN parece haber sido el primero que llegara a realizarlo. Galileo lo hizo igualmente y de un modo muy sencillo, pesando primero un frasco con aire a presión ordinaria y luego con aire comprimido.

En acústica, se preocupó de la forma de las ondas, que hizo visibles por el conocido experimento que consiste en pasar el dedo mojado sobre el borde de una copa de cristal llena hasta la mitad de agua. Observó también que si se frota el borde de una chapa metálica, se forman en la superficie rayas paralelas, producidas por la vibración sonora, pero no llevó más adelante sus experimentos que no restan nada a la originalidad de los trabajos de CHLADNI.

Hemos dicho ya que inventó la balanza hidrostática, que le permitió determinar la densidad de muchos cuerpos, y un compás de proporción, verdadero precursor del micrómetro; pero no podemos pretender ocuparnos de todos sus ingeniosos inventos y sus geniales ideas sobre tan-

tas partes de la física, como la resistencia, la cohesión, la tenacidad, la difusión, el calor radiante, el choque (aunque sin distinguir el choque elástico del no elástico), la fuerza centrífuga, etc.

Tampoco sería exacto dar la impresión de que Galileo hubiere colocado en su justo lugar todos los conceptos erróneos del tiempo, pues no sería difícil hacer una larga lista de sus propios errores de forma o de concepto. Basta recordar que creía en la hueca hipótesis del "horror al vacío", que en las ideas acerca de la constitución de la materia no fué superior a los antiguos, que consideró el calor como un flúido y oponía, como ARISTOTELES, el calor al frío, que en magnetismo nada agregó a la obra de GILBERT...

Sólo nos queda hablar aún de su participación en el invento del termómetro . No se sabe con seguridad quien fué el verdadero inventor del termómetro, pues, para este instrumento como para el anteojo y el microscopio, muchos son los que al mismo tiempo se han preocupado de su construcción, y muchos por consiguiente los que tienen méritos de más o menos valor para ser considerado cada uno como el primero que haya alcanzado su propósito. Entre los que tienen más defensores citaremos a Galileo, SANTORIO, DREBBEL, SARPI, BACON, VAN HELMONT y FLUDD, y debemos remontar la antigüedad para encontrar a sus precursores. Los antiguos no estudiaron científicamente el calor debido a la falta de aparatos de medida de intensidad, pues sólo se guiaban por los sentidos. Observaron la dilatación de los sólidos y del aire pero no la de los líquidos. Los árabes, que sabían que los líquidos se vuelven menos densos con el calor, no parecen haberse dado cuenta que esto se debía a su dilatación. Hemos visto que, basándose en este cambio de densidad de los líquidos, los médicos árabes llegaban a medir aproximadamente su temperatura por medio del areómetro. También hemos visto ya que FILON DE BIZANCIO inventó un termoscopio que HERON perfeccionó. Este aparato tenía el mismo principio que el ter-

moscopio de aire, que consiste en un pequeño depósito de vidrio con un tubo abierto bastante largo para que no se escape la gota de agua que separa el aire interior del exterior e indica sus menores dilataciones o contracciones. Pero este último y sencillo aparato sólo fué inventado en los primeros años del siglo XVII.

VIVIANI reclama para Galileo la gloria de esta invención, pero sin poderse negar en absoluto la afirmación del fiel discípulo de Galileo, no se puede tampoco darle absoluto crédito ya que no se le encuentra confirmación en la obra del maestro (1). Si rechazamos este testimonio por falta de pruebas suficientes, podemos creer como lo hace Hoefer, que el médico VAN HELMONT es el verdadero inventor del termómetro. En efecto, en 1648, habla de un termómetro de agua, en un libro de medicina en el que dice que en los primeros años del mismo siglo comunicó a un físico que lo acusaba de creer en el movimiento perpetuo, que su acusación era falsa pero que había construído un aparato que, a primera vista, parecía resolver este problema y en el cual "agua contenida por un globo terminado por un tubo de vidrio, sube o desciende según la temperatura del medio ambiente". Sería, inspirado en este aparato, que CORNELIO DREBBEL (2) habría construído un termómetro más perfeccionado, que FRANCISCO BACON a su vez no hizo más que describir en 1620 en su "Novum Organum". Además de BACON, los ingleses reivin-

(1) LIBRI en su Hist. des Math. en Italie, tomo IV pág. 189: — *"Testimonios irrecusables prueban que Galileo había construído un termómetro antes de 1597 y que en 1603, a más tardar, había mostrado sus efectos al padre Castelli... Es verdad que no se encuentra la descripción del termómetro en las obras de Galileo..."*

(2) CORNELIO DREBBEL, físico y químico holandés, nació en Alkmaer en 1572 y murió en Londres en 1634. Mecánico ingenioso, hombre de erudición indiscutible, pero poco escrupuloso y charlatán desde el punto de vista científico, supo conquistarse la protección y consideración de los emperadores alemanes RODOLFO II y FERNANDO II y del rey de Inglaterra JACOBO I, que lo llamó a su corte. Se le atribuye la invención del microscopio, del telescopio batávico y del termómetro, pero no tiene títulos para ello. Su termómetro, inspirado por el de VAN HELMONT, está compuesto por un depósito de vidrio soldado a un tubo que termina por un pequeño globo. El depósito se llena de agua con ácido nítrico y la parte superior se une con él, después de haberla calentado

dicaron el honor del invento para FLUDD (1) que pretendió, en 1638, haber encontrado la descripción de un termómetro en un manuscrito del siglo XII, pero poca fe se tiene en esta afirmación y se sabe además que ese médico había viajado por Italia y que había conocido a DREBBEL cuando este fué llamado a Inglaterra por el rey Jacobo I, todo lo cual permite suponer que en una de estas dos circunstancias haya tenido la oportunidad de ver termómetros.

Los italianos presentan, además de Galileo, al médico SANCTORIO y a FRA PAOLO SARPI; pero el primero parece haber conocido los trabajos de DREBBEL y el segundo no hizo observaciones por medio del termómetro sino hacia 1617 y no se alabó nunca de haberlo inventado. Se podría agregar todavía a PORTA que en su "Magia" (Libro "Neumática" edición 1606) describe un termómetro de aire, pero, como FILON y HERON, PORTA lo empleaba sólo para estudiar la dilatación del aire.

Sea o no Galileo el inventor del anteojo, del termómetro y del microscopio, su activa participación en todas estas innovaciones, nos muestra que ninguna cuestión científica que se planteara en su tiempo pasó inadvertida para él. Fué además, durante toda su vida, no sólo un verdadero padre para los discípulos que formó, sino el amigo, el consejero y el protector de todos los sabios europeos, que sabían que al recurrir al maestro, recibían siempre pruebas de su bondad y de su genio. Sus admiradores y sobre todo sus compatriotas, han alabado siempre la modestia de Ga-

---

para que salga parte del aire; de este modo, a la dilatación del líquido por la temperatura se agregan los efectos de la presión atmosférica, pues el aparato era un verdadero barómetro de cubeta. Esto no fué naturalmente sospechado por DREBBEL que no conocía la presión atmosférica.

(1) ROBERTO FLUDD, nació en Milgate (Condado de Kent) en 1574 y murió en Londres en 1637. Hijo del rico tesorero de la reina Isabel, pudo hacer buenos estudios en Oxford y en Londres donde recibió el título de doctor en medicina. Realizó grandes viajes por toda Europa y escribió obras de ciencia y de filosofía, pero sólo las de química merecen recordarse aquí. Su más grande defecto ha sido mezclar continuamente las ciencias exactas con las ciencias ocultas, en lo cual fué refutado por GASSENDI, MERSENNE y KEPLERO. Hizo, sin embargo, algunas observaciones interesantes sobre el aire, el vapor y el agua.

lileo. Otros de sus biógrafos, sin intención de rebajar el valor científico del incomparable genio, pero sólo creyendo ser fieles a la verdad, han emitido ciertas dudas acerca de su modestia. No nos extrañaría que tuvieran razón estos historiadores, pues el orgullo o la vanidad deben forzosamente encontrar presa fácil en los que el mundo entero glorifica. NEWTON en sus disputas con HOOKE, HUYGHENS y LEIBNITZ; DESCARTES, que consideró siempre a HUYGHENS un poco como un niño y que se sentía celoso de la gloria de Galileo, ofrecen típicos ejemplos de esa debilidad común a muchos grandes hombres. Que no nos extrañe pues, esta frase de Galileo: "Este cielo, este mundo, este universo que por mis maravillosas observaciones y mis evidentes demostraciones, había engrandecido cien y mil veces más de lo que habían creído los sabios de todos los siglos pasados, se han vuelto para mi tan reducidos, tan disminuídos, que no se extienden más allá del espacio ocupado por mi persona".

Sin querer tampoco atacar en nada la personalidad de Galileo, no podemos impedirnos de hacer resaltar el contraste entre esta frase y otra pronunciada casi trescientos años más tarde, por LORD KELVIN al ocaso de su vida fecunda:

> " Una sola palabra" — decía este venerable anciano — "caracteriza mis más vigorosos esfuerzos pro-
> " seguidos durante muchos años para el progreso de
> " la ciencia, esta palabra es "falta de éxito". Yo no sé
> " lo que es la fuerza magnética o eléctrica ni cuáles son
> " las relaciones entre el éter, la electricidad y la mate-
> " ria, ni más ni menos de lo que sabía hace cincuenta
> " años, al empezar mi carrera".

No debe permitirse tampoco que la justa admiración que nos inspira Galileo, nos induzca al error de creer que no ha tenido precursores. No nos cansaremos de decir que la ciencia evoluciona constantemente por el esfuerzo colectivo de muchos sabios y los grandes genios no hacen más que apresurar sus pasos. COPERNICO, KEPLERO, Galileo, DESCARTES y NEWTON, que parecen todos haber "revo-

lucionado" la ciencia con ideas nuevas, han seguido el rumbo indicado por sus predecesores. Las grandes ideas no han brotado de repente en sus espíritus superiores y el deber del historiador es el de descubrir los principales jalones de la evolución científica y unir las ideas las unas con las otras, como se unen los eslabones de una cadena. Los precursores de Galileo, en dinámica, son poco conocidos. Ya hemos hablado del belga STEVIN y del italiano BENEDETTI, debemos citar todavía a JUAN BURIDAN, NICOLAS ORESME, ALBERTO DE SAJONIA y DOMINICO SOTO, que PEDRO DUHEM ha indicado como "precursores parisienses" de Galileo, y que estudiaremos a continuación.

PRECURSORES DE GALILEO

JUAN BURIDAN
(¿-?)

Nació en Bethume en fecha desconocida. Sólo se sabe que era "maestro en artes", que fué nombrado rector de la Universidad de París en 1327, que ocupó este puesto durante veinte años y que algunos escritos judiciales del tiempo hacen creer que vivía todavía en 1358. No nos incumbe aquí la tarea de recordar las teorías filosóficas que desarrollaba en la Universidad de París, sino sus escritos de mecánica que DUHEM ha descubierto y comentado.

BURIDAN introdujo en la física un factor nuevo que llamaba el "ímpetu", que puede ser considerado como el origen del "momento" de GALILEO, que DESCARTES transformó en "cantidad de movimiento" y LEIBNITZ, en fin, en "fuerza viva". Después de haber demostrado que las teorías de ARISTOTELES sobre el movimiento no se adaptan a la experiencia, Buridán explica su teoría propia:

"Mientras el motor mueve el móvil, le imprime " un cierto "ímpetu", una cierta potencia, capaz de

" mover este móvil en la misma dirección, sea hacia
" arriba, sea hacia abajo, o lo mismo de un lado o cir-
" cularmente. Cuanto mayor sea la velocidad con que
" el motor mueve el móvil, tanto más potente será el
" "ímpetu" que le imprime. Es este "ímpetu" que mue-
" ve la piedra después que el que la tira ha cesado de
" moverla; pero, por la resistencia del aire y también
" por la pesantez que desvía la piedra en una dirección
" contraria a la que el "ímpetu" le imprime, este "ím-
" petu" se debilita continuamente; por consiguiente, el
" movimiento de la piedra disminuye constantemente;
' este ímpetu acaba por ser vencido y destruído a tal
" punto que la gravedad le gana, y, desde entonces,
" mueve la piedra hacia su "lugar natural".

Aplicando su "ímpetu" a la caída de los cuerpos, Buridán explica que:

"Esto parece también ser la causa por la cual la
" caída natural de los graves se acelera constantemen-
" te. Cuando empieza la caída, en efecto, la gravedad
" mueve sola el cuerpo que cae pues más lentamente;
" pero cuando esta gravedad imprime un cierto "ím-
" petu" al cuerpo pesado, "ímpetu" que mueve el cuer-
" po al mismo tiempo que la gravedad, el movimien-
" to se vuelve entonces más rápido; pero cuanto más
" rápido se vuelve, más intenso se vuelve el "ímpetu" y
" se ve pues que el movimiento va acelerándose con-
" tinuamente."

Buridán, no dió valor matemático a su "ímpetu" pero de sus explicaciones se deduce que lo consideraba igual al producto del volumen del cuerpo, por su densidad y su velocidad.

Buridán destruyó pues, como lo hizo Galileo, la creencia de ARISTOTELES de que "para mantener un cuerpo en movimiento es necesaria la acción continua de la fuerza", la otra según la cual "el movimiento de caída de los graves en el vacío debe ser uniforme" y que "el aire aumenta la velocidad del cuerpo cadente".

ARISTOTELES decía que "la velocidad de caída es proporcional al espacio recorrido" y GALILEO lo refutaba diciendo que "la velocidad de caída es proporcional al tiempo transcurrido". En esta afirmación también tuvo un precursor, y es ORESME.

ORESME
(13..-1382)

NICOLAS ORESME era estudiante de teología en la Universidad de París en 1346, canónigo de Ruén en 1362, obispo de Lisieux en 1377 y murió en 1382. No debe ser considerado solamente como precursor de GALILEO sino también de COPERNICO, pues creía firmemente en el movimiento diurno de la Tierra, también precedió a DESCARTES, pues quiso reunir la geometría con el álgebra y llegó a establecer la ecuación de la línea recta.

Fué precursor de GALILEO por haber afirmado que
" el espacio recorrido en un movimiento uniformemen-
" te variado es igual al que sería recorrido por un mo-
" vimiento uniforme de misma duración, que tuviera
" por velocidad la velocidad alcanzada por el primero
" en su momento medio."

ALBERTO DE SAJONIA

ALBERTO DE SAJONIA, creía como BURIDAN que los graves caen con una velocidad uniformemente acelerada, pero caía en el mismo error que los peripatéticos, al creer que esta velocidad es proporcional al espacio recorrido.

DOMINGO SOTO
(1494-1560)

DOMINGO SOTO, en fin, el célebre teólogo y escritor español, reunió las ideas de BURIDAN, ORESME y ALBERTO DE SAJONIA y llegó a la conclusión de que:

" El movimiento uniformemente variado con relación
" al tiempo, es aquel cuya variación es tal que, si se
" divide según el tiempo, es decir, según partes que se
" suceden en el tiempo, en cada parte el movimiento
" en el punto medio excede el movimiento extremo me-
" nor de esta parte en una cantidad igual a la de que
" es excedido el mismo por el movimiento extremo ma-
" yor. Este movimiento es propio de los cuerpos que
" se mueven con movimiento natural y de los proyecti-
" les. En el primer caso el cuerpo se acelera uniforme-
" mente y en el segundo se retarda uniformemente".

Este Fray Domingo Soto, nació en Segovia en 1494. Era de familia pobre y para poder estudiar pidió la sacristía de un pueblito cerca de su ciudad natal. Allí pudo hacer algunos ahorros que le permitieron estudiar en la Universidad de Alcalá y luego en la de París, donde recibió el título de maestro en artes. Vuelto a España, fué profesor de filosofía en Alcalá; tomó el hábito de la Orden Dominicana; fué lector de Artes en el Convento de Burgos y, en 1532, ganó en concurso la cátedra de teología de la Universidad de Salamanca. Murió en esta última ciudad en 1560.

Estos datos bastarán para probar que GALILEO, fundador indiscutido de la dinámica, ha sabido reconocer la exacta entre las muchas teorías que se enseñaban en esa época, aunque no era la más difundida, y ha sabido demostrarla con tanto rigor que a él debe ir todo el mérito de haberla introducido en la ciencia.

KEPLERO
(1571-1630)

Leyes de Keplero. La atracción universal. Teoría de la visión. La refracción. Perfeccionamiento del anteojo. Concepto de masa, peso, energía.

JUAN KEPLERO (KEPPLER, en alemán) nació cerca de Weil, en Wurtemberg, en 1571, y murió en Ratisbona en 1630.

Su vida entera no fué sino una larga serie de desgracias. Nació antes de término y siempre fué su salud sumamente delicada. Descendía de familia noble, pero su padre, completamente arruinado, era soldado en el ejército — de triste memoria — que trataba de reprimir la Revolución en los Países Bajos, bajo las órdenes del fanático Duque de Alba. Su madre, mujer del pueblo, no tenía educación alguna y menos corazón aún.

A los seis años, Keplero fué enviado a la escuela; pero pronto túvo que dejar sus primeros estudios, pues su padre, vuelto de la guerra, había abierto una pequeña taberna y lo llamó a su lado para que lo ayudara en su penoso trabajo. Pocos años después, el padre del futuro sabio se enroló en las filas de un ejército austríaco que combatía a los turcos, y de allí no volvió nunca. Keplero fué recogido entonces por su hermana, pues, en su casa, entre su madre y sus dos hermanos, de tal mal genio como ella, ese niño enfermizo sufría un verdadero martirio. Su cuñado, pastor protestante, le dió algunos rudimentos de instrucción y lo hizo entrar, en 1589, en el Seminario de Tubingen, del que fué echado por poco religioso después de haber alcanzado el título de bachiller gracias, en parte, a la protección de su profesor, el famoso MAESTLIN, quien lo dirigió en sus estudios de astronomía y matemáticas. Fué también por la influencia de ese astrónomo que, en 1593, decidido a abandonar la carrera eclesiástica, aceptó un puesto de profesor de matemáticas en Graetz (Estiria) donde publicó su primera obra — un almanaque — en 1594, y una obra de cos-

mografía "Misterios cosmográficos" (1596), que lo puso en relación con muchos sabios y entre ellos TYCHO BRAHE y GALILEO.

En 1597, (tenía entonces veintiseis años), Keplero se casó con Bárbara Muller, mujer noble y hermosa, que había enviudado de dos maridos y que hizo muy desgraciado a nuestro sabio. En 1600, persecuciones religiosas de parte de los católicos de Estiria obligaron a Keplero, que era protestante, a abandonar el colegio de Graetz. TYCHO BRAHE lo llamó a Praga, pero lo recibió y lo trató como un inferior, haciéndolo trabajar mucho sin retribuírlo en proporción. "Es un hombre duro y altanero con quien es imposible vivir" escribía Keplero en esa época.



JUAN KEPLERO

Cuando TYCHO BRAHE murió (1601), Keplero lo reemplazó como astrólogo del Emperador, y pudo sacar gran provecho de las numerosas observaciones acumuladas por el astrónomo danés. Pero el mal estado de las finanzas del país era tal, que pasaban muchos meses sin que Keplero fuera remunerado por su trabajo. "El sueldo es brillante", decía el pobre sabio "pero las cajas están vacías; pierdo mi tiempo en la puerta del cajero de la Corona y mendigando".

En 1611, su mujer, que se había enloquecido, murió así como los tres hijos que le había dado. Keplero, reducido a la última miseria, a pesar del alto puesto que ocupaba, aceptó un puesto de profesor de matemáticas en Linz, donde conoció a una segunda mujer, que le dió siete hijos, de los cuales uno solo le sobrevivió.

No entraremos a discutir el delicado punto biográfico, que ha sido causa de curiosas investigaciones, de saber si Keplero contrajo sus segundas nupcias como resultado de la "asechanzas que le tendieron once señoritas, enamoradas todas de su persona y que querían casarse con él", como lo afirma ARAGO, o si los amigos de Keplero le indicaron, a su pedido, muchas candidatas convenientes y que, después de conocer a once de ellas, el sabio se decidió por la más pobre pero la más instruída de ellas, como lo afirma TROUESSART en el estudio sobre Keplero que FIGUIER recuerda al respecto ("La Ciencia y sus Hombres". Tomo II, pág. 559).

La Iglesia debía agregar también algunos a los tantos sufrimientos que su mala salud y su pobreza le hacían pasar. En 1614, fué acusado de herejía por la Iglesia Católica y Protestante reunidas, y se había salvado a duras penas de esta acusación, cuando tuvo que intervenir a favor de su madre, acusada de brujería, "de tener frecuentes entrevistas con el diablo y hacer morir a los cerdos del vecindario, sobre los cuales hacía paseos nocturnos..." etc.

Keplero murió en 1630, durante uno de los viajes que realizaba a Ratisbona para solicitar el pago de sus sueldos atrasados. Toda su fortuna sumaba veinte y dos florines (unos diez pesos oro uruguayo) y la corte le debía más de veinte y nueve mil florines (unos catorce mil pesos).

Su obra ha sufrido las consecuencias de su miseria perpetua, pues la mayor parte de sus trabajos los escribió para ganar un poco de dinero. En la corte se dedicó a ridículos estudios de astrología confeccionando horóscopos, a solicitud de los príncipes.

A pesar de esta miseria, de su mala salud, del enorme y ridículo trabajo que le hacían hacer, tuvo tiempo para

escribir obras inmortales que lo colocan entre los grandes genios y le hacen merecer el glorioso título de "fundador de la astronomía moderna".

Mientras en Italia se tramaba el ataque cruel del que fué víctima GALILEO, Keplero establecía definitivamente el sistema de COPERNICO con las tres célebres leyes (1609) que llevan su nombre y que pueden enunciarse así: Los planetas describen alrededor del Sol elipses de las cuales éste ocupa uno de los focos. (Esta ley fué la segunda en ser descubierta). Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas alrededor del Sol son entre sí como los cubos de sus distancias medias a este astro.

Los planetas se mueven de tal manera que el rayo vector que los une al Sol cubre superficies iguales en intervalos de tiempo iguales. (Esta ley es la primera en el orden histórico.) (1)

Estas tres leyes que permiten entender y calcular el movimiento de los planetas, son la obra principal del gran astrónomo alemán; pero más nos interesan aquí sus trabajos relacionados con la física.

Sus leyes sobre el movimiento planetario fueron las que permitieron a NEWTON descubrir su famoso principio de la atracción universal. Keplero no pudo llegar tan lejos, pues los conocimientos de mecánica de su época no eran suficientes. Conocía, sin embargo, la atracción de los cuerpos, y decía, en 1596: "La pesantez tiene una acción recíproca entre cuerpos de misma especie, que los hace tender a reunirse, como lo hace el imán, y la Tierra atrae mucho más a una piedra de lo que la piedra solicita a la Tierra..." Ampliaba este concepto de atracción a todo el Universo y atribuía muy exactamente las mareas a la atracción lunar sobre el mar, pero cometía el error de creer que la fuerza de atracción varía proporcionalmente a la distancia. Dijo, en efecto: "¿No habría en el Sol un alma motriz, obran-

(1) Trabajos recientes del abate belga FL. SILVERYSER atribuyen al astrónomo belga GODOFREDO WENDELIN (1580-1660) prioridad en el descubrimiento de las leyes.

do en los planetas con una fuerza proporcional a su distancia y el movimiento, así como la luz, no lo distribuiría acaso el Sol?". Dejó pues a NEWTON, que conoció su obra, el honor de definir la ley de atracción y explicar por medio de ella la causa de los movimientos planetarios.

La obra de Keplero en óptica fué también inmensa. Hizo alguna vaga alusión a la teoría de las ondulaciones. Estableció la verdadera teoría de la visión, explicando por qué, aunque la imagen sea invertida en la retina, vemos los objetos al derecho. Fué el primero que, desde PTOLEMEO, hiciera importantes observaciones sobre la refracción sin llegar sin embargo, a establecer su ley, pero dando una regla aproximativa de la relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción. Propuso un gran perfeccionamiento del anteojo holandés, que constaba de un objetivo biconvexo y de un ocular bicóncavo, reemplazando éste por una lente biconvexa que aumenta el campo visual y tiene el único inconveniente de producir una imagen invertida. Este anteojo fué construído después de la muerte de su inventor por SCHEINER (1), y aún se emplea para observaciones astronómicas, pero fué HUYGHENS quien trajo mayores perfeccionamiento al anteojo. En la obra de óptica que publicó en 1611 (Dióptrica...) y que contiene los descubrimientos antes citados, Keplero dió la ley principal de la fotometría: "La intensidad de la luz es inversamente proporcional a la superficie" y habló de la reflexión total.

En una obra anterior a esta (Ad Vitelionem Paralipómena... 1604) emitió curiosas ideas físicas. Consideraba a la luz como un derrame continuo de la materia del cuerpo luminoso, con una velocidad muy grande. Los cuerpos, en que una disposición regular de los intersticios intermoleculares permite a la luz atravesarlos fácilmente, son trans-

(1) SCHEINER. (Suabia 1575-Silesia 1650). Este monje es sobre todo conocido por su reivindicación al descubrimiento de las manchas solares por lo que entró en discusión con GALILEO y lo hizo con muy poca caballerosidad. Se ocupó de óptica en que hizo interesantes experimentos y construyó el anteojo de refracción de KEPLERO al cual pensó agregar una tercera lente para invertir otra vez la imagen. Es también inventor del pantógrafo. Era enemigo de la teoría de COPERNICO.

parentes, los otros son opacos. El calor es inmaterial, es una propiedad de la luz, y es el estado de movimiento de las partículas de los cuerpos. "El aire es pesado a pesar de lo que creen nuestros físicos", decía también Keplero en esa obra, redactada cuatro años antes que naciera TORRICELLI.

Hemos visto también que a Keplero se debe el enunciado de la primera parte de la ley de inercia: "Toda materia quedaría en reposo, si fuera absolutamente aislada...", ley que GALILEO completó agregando que tampoco puede por sí misma modificar su movimiento.

En el estudio del movimiento, Keplero fué el primero en apartarse por completo de ARISTOTELES y en ello está, por cierto, a la altura de GALILEO.

Su concepto de la pesantez puede ser considerado como más preciso que el de GALILEO ya que aseguró claramente que se trata de una propiedad general de la materia, que la atracción es proporcional a la masa, que esta atracción se ejerce en todos sentidos y no en una sola dirección como lo creyera GILBERT, y, en fin, que "pesado" y "ligero" son grados relativos de esa misma pesantez y no cualidades opuestas como lo afirmara ARISTOTELES.

Keplero colaboró en forma eficaz al esfuerzo que ya observamos en GALILEO hacia la precisión en los conceptos fundamentales de la mecánica. Sobre la fuerza, por ejemplo, vemos que la consideraba como la causa inmaterial del movimiento, pero medía esta fuerza por el producto de la masa inerte por la velocidad del movimiento. GALILEO lo sobrepasaba en este punto, pues igualaba la fuerza al producto de la masa por la aceleración.

Igual que GALILEO, y aun DESCARTES y NEWTON, Keplero confundía con frecuencia masa y peso.

Se acercó mucho al concepto de "trabajo" pues consideró necesario medir la "potencia" por "lo que ha sido realmente cumplido por el movimiento" pero hizo intervenir para ello el peso y el camino recorrido, en forma bastante imprecisa.

En forma no menos vaga, se refirió a la diferencia que existe entre lo que llamamos la energía cinética y la energía potencial, y empleaba textualmente el término "energía" de manera relativamente adecuada.

Para darnos cuenta de lo difícil que resulta desglosar en las obras de Keplero sus grandes y geniales aciertos de sus errores y vaguedades, deberían citarse algunas de las fantásticas elucubraciones que abundan en sus obras y que demuestran demasiado claramente cómo aquel genio, mezclaba deslumbrantes visiones de la verdad científica con las ideas más extraordinarias de su pintoresca imaginación. Es que Keplero fué el prototipo del renovador arriesgado. Consideraba toda filosofía como "una innovación y un combate con las antiguas ignorancias". Su rasgo principal era la perseverancia, que no sólo puso al servicio de sus ideas más geniales y más acertadas, sino también de sus errores más grandes.

Refiriéndose a esos errores. BAILLY aseguró que fueron muy grandes pero que fueron también "superiores a su siglo y caracterizan al hombre superior".

Los sufrimientos físicos y morales y las privaciones materiales que debió sufrir Keplero no fueron siquiera mitigados por las satisfacciones de amor propio a las cuales sus méritos le daban derecho. Su obra no fué apreciada por el vulgo debido a su dificultad y su elevación, ni por los nobles, que consideraban que ese astrólogo de corte se dejaba distraer demasiado en estudios teóricos en lugar de dedicarse a la fabricación de horóscopos como se lo imponía su oficio. Tuvo la amistad de algunos sabios como su maestro MAESTLIN, LONGOMONTANO y GALILEO. Pero aun ellos no reconocieron siempre los méritos de Keplero. Una carta de LONGOMONTANO nos demuestra que éste se hacía eco, en términos amistosos pero duros, de la antipatía que se atraía Keplero "al pretender ser superior o igual al gran TYCHO BRAHE de quien aprovechaba la seria labor de observación para sostener teorías ridículas." GALILEO, por su parte, genio observador y meticuloso,

siempre consideró con prevención la obra arriesgada y renovadora de Keplero, fruto de un temperamento tan distinto del suyo. En cuanto a DESCARTES, ni siquiera leyó la obra de Keplero...

CAUSS
(1576-1630)

Una máquina de vapor. El termómetro.

SALOMON DE CAUSS nació en Normandía en 1576 y murió en 1630.

Su nacionalidad francesa es puesta en duda por los historiadores alemanes, porque su obra principal: "Las Razones de las Fuerzas Motrices" fué publicada en 1615 en francés y en alemán, casi simultáneamente; pero el mismo POGGENDORFF no se atreve a acompañar a sus compatriotas en esta poco fundada reivindicación.

El punto es interesante, pues Causs ha sido considerado como el primer precursor europeo de la máquina de vapor.

Pero POGGENDORFF, HOPPE y otros historiadores no le reconocen ese glorioso título que ARAGO le otorga con entusiasmo en su "Noticia sobre la máquina de vapor" (1828). En esta discusión, sin pecar de suspicacia, puede afirmarse que los sentimientos patrióticos de los historiadores tienden a influir sobre su imparcialidad de comentaristas de los hechos. Autores italianos defienden en general los derechos de PORTA o de BRANCA, autores ingleses proclaman los derechos de WORCESTER, autores franceses sostiene los derechos, tan discutibles, de Causs o los de PAPIN, y algunos autores alemanes quisieron atribuirlos a Salomón de Causs mientras que otros le negaban todo mérito, reconociéndole su nacionalidad francesa..

Tratemos de acercarnos a la verdad de los hechos. Salomón de Causs era un arquitecto e ingeniero que jamás co-

noció la fama, ni se creyó un genio cuyo nombre perdurara en la historia de las ciencias. Viajó mucho, fué maestro de dibujo de la princesa Isabel, en Inglaterra, donde dirigió el planteo de los jardines del palacio de Richmond y construyó fuentes y máquinas hidráulicas. Siguió a la princesa Isabel a Alemania cuando esta se casó con el duque de Baviera y dirigió las obras del palacio de Heidelberg.

Fué entonces que publicó en Francfurt su obra: "Las Razones de las Fuerzas Motrices" (1615) en la cual se encuentra la descripción del invento que permitió a ARAGO atribuirle un papel importante en la historia de la máquina de vapor. El invento de Causs consistía en un recipiente metálico cerrado, en el cual un tubo penetraba hasta el fondo. Se introducía agua en el interior y se calentaba: el vapor que se formaba en el recipiente, ejercía presión sobre la superficie del agua que se escapaba con fuerza por el tubo. Causs por otra parte no le dió mayor importancia a esta máquina y la consideró más bien como un aparato de demostración de la presión del vapor y de su fuerza. Tiene, sobre la máquina utilizada por PORTA catorce años antes, la ventaja o el mérito de tener por fin la realización de un trabajo (la elevación del agua) mientras que PORTA sólo deseaba descubrir un medio para determinar la proporción existente entre el volumen de agua y el volumen del vapor que esta produce.

Debe recordarse en fin que ni PORTA ni Causs agregaron elementos nuevos ni progresos sensibles a las aplicaciones del vapor ya imaginadas por HERON.

Siguiendo al historiador de la máquina de vapor, THURSTON, diremos como él que Causs y PORTA pertenecen como HERON al período de especulación de la historia del vapor y que sus méritos, en cuanto a este invento, son muy relativos (1).

Se ha pretendido agregar el nombre de Causs a la lista, ya demasiado larga, de los presuntos inventores del ter-

(1) Véase más adelante WORCESTER.

mómetro, pues en la misma obra ha descrito un aparato que, aunque muy grosero, puede ser considerado como un termoscopio, semejante en principio al que inventara FILON y perfeccionara HERON.

En su misma obra "Razón de las Fuerzas Motrices" Causs dice: "El aire es un elemento frío, seco y liviano que se puede comprimir y hacer muy violento... El aire se llama "ligero" porque cualquiera cantidad que de él haya en un recipiente, no será por esto más pesado...". Causs, como la mayor parte de los físicos del tiempo, no creía pues en la pesantez del aire, a pesar de las recientes afirmaciones de STEVIN (1586), KEPLERO (1604) y GALILEO.

VAN HELMONT
(1577-1644)

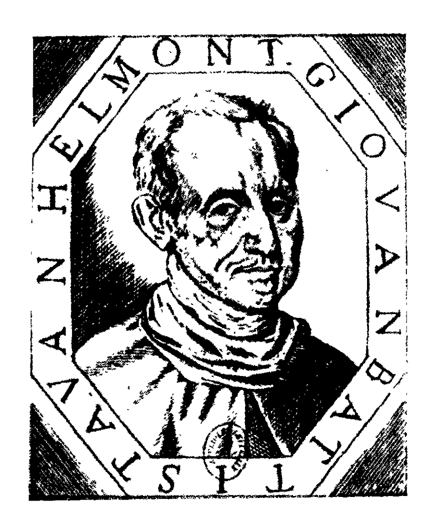
Los gases. El termómetro. Los puntos fijos termométricos. El termómetro diferencial. La aviación.

JUAN BAUTISTA VAN HELMONT, médico y químico belga, nació en Bruselas en 1577 y murió en Vilvorde en 1644.

Noble y aliado a las más aristocráticas casas belgas y holandesas, se dedicó sin embargo al estudio y recibió el título de Doctor en Medicina en la Universidad de Lovaina. Empezó en seguida a viajar y recorrió los principales países de Europa, donde se puso en relación con los hombres de más saber. Después de diez años, volvió a su patria y se retiró a una propiedad que poseía en Vilvorde a unos veinte kilómetros de Bruselas, para dedicarse sólo al estudio de la ciencias y a una humanitaria práctica de la medicina, rehusando las más halagadoras ofertas de varias universidades europeas y de los emperadores Rodolfo II y Fernando II. Era piadoso y caritativo, daba gratuitamente su asistencia a todos y su altruísmo resalta más aún cuando se recuerda la época en que vivía y que, noble y poderoso,

por simple bondad, se sacrificaba para los pobres. En una fría noche de invierno, se fué en pleno campo a visitar un enfermo y esta santa imprudencia le costó la vida.

Su altruísmo no era título suficiente para protegerle de las persecuciones de la Inquisición y el tres de marzo de 1634 fué arrestado por orden de este tribunal y encarcelado. Después de cuatro años de encierro, gracias a altas influencias y a la intervención de Catalina de Médicis, pudo recobrar la libertad, pero sólo fué reconocido inocente del crimen de herejía... dos años después de su muerte.



J. B. VAN HELMONT

Su nombre está unido sobre todo a los progresos de la química, de la farmacia y de la medicina. Fué uno de los primeros que defendiera en Europa el empleo de preparaciones químicas en medicina; proclamó en química la absoluta necesidad del empleo de la balanza; descubrió y estudió muy detalladamente el ácido carbónico y el jugo gástrico; mostró que una vela colocada debajo de un vaso se apaga después de un cierto tiempo y que una parte del gas desaparece, pero no pudo explicarse naturalmente el fenóme-

no de combustión. Descubrió también muchos productos medicinales y químicos.

En física, su influencia fué grande: Fué el primero en reconocer la existencia de los gases, a los que dió este nombre, como un mismo estado físico de substancias químicamente distintas, diferenciando así el ácido carbónico del gas sulfuroso. Es él que tiene probablemente más títulos al invento del termómetro, como lo hemos visto al hablar de GALILEO, y es probable que pensó también en establecer como puntos fijos la temperatura del hielo fundente y la del vapor de agua, a pesar de que esta idea se atribuye generalmente a HOOKE (1684) o a RENALDINI (1694) para el agua hirviendo y a HOOKE (1674) y a la ACADEMIA DEL CIMENTO en la misma fecha, para la fusión del hielo. Inventó un termómetro diferencial muy parecido al que LESLIE construyó y del cual se considera a este último erróneamente como el inventor. La descripción de este aparato se encuentra en una obra póstuma de Van Helmont, publicada en 1648; STURM (1) descubrió otro termómetro diferencial en 1685.

Su nombre merece, en fin, ser citado entre los que se preocuparon de la conquista del aire y en la historia de la aviación se dá cierta importancia a una conferencia que Van Helmont dió en Bruselas sobre la posibilidad de volar y que despertó mucho interés.

VERNIER
(1580-1637)

El "nonio".

PEDRO VERNIER nació en 1580 y murió en 1637.

Su nacionalidad es discutida, pues nació en el Franco Condado, provincia francesa que pertenecía en aquella épo-

(1) JUAN C. STURM (1653-1703). Matemático y físico alemán. Dió al termómetro diferencial una forma más parecida a la actual y lo empleó para medir la radiación calorífica. LESLIE no agregó nada al dispositivo de Sturm.

ca a la casa de Austria. Su apellido nos inclina a creer que era de sangre francesa y a favor de esto se puede agregar que ha escrito sus obras en francés.

Publicó en Bruselas, en 1631, un libro sobre "Cuadrante Mecánico", nombre con el cual designaba el importante aparato de medida llamado en castellano "nonio". Los franceses han hecho justicia a su verdadero inventor llamándolo "vernier" mientras que "nonio", recuerda al matemático portugués NUÑEZ (1) que ha imaginado un aparato de medida muy ingenioso, pero que no puede ser considerado inventor del importante instrumento de medida al cual hacemos referencia.

MERSENNE
(1588-1648)

Ley de vibración de las cuerdas. Velocidad del sonido. Reflexión del sonido. Isocronismo del péndulo. Principio de Pascal. Presión atmosférica. Otros descubrimientos.

MARINO MERSENNE, nació en la provincia de Maine (Francia) en 1588 y murió en Paris en 1648.

Fué un erudito, filósofo, teólogo y matemático, pero más grande que su obra personal, fué su influencia sobre los sabios de su tiempo para quienes era un consejero bondadoso, que los ponía en relación unos con otros, les comunicaba los descubrimientos y las ideas o los proyectos de que tuviera conocimiento, transformándose en un verdadero centro del movimiento científico.

Estuvo así en relación con GALILEO, GASSENDI, DESCARTES, ROBERVAL, HUYGHENS, PASCAL, TORRICELLI, FERMAT y muchos otros grandes sabios.

---

(1) PEDRO NUÑEZ (1492-1577). Astrónomo y matemático portugués, profesor de Coimbra y preceptor del hijo del rey Manuel el Afortunado.

Hizo sus primeros estudios en el colegio de Jesuítas de la Fleche, donde tuvo como amigo y condiscípulo a DESCARTES, sobre quien ejerció siempre una benéfica influencia. Más tarde entró en la Orden de los Padres Mínimos.

En sus obras científicas, describió muchos experimentos de física, entre los cuales se destacan: una tentativa de determinación de la longitud del péndulo de segundo; observaciones sobre las vibraciones de las cuerdas en función de su tensión, de su espesor y naturaleza; una apreciación de la velocidad del sonido posterior a la de GASSENDI;



EL PADRE MERSENNE

un estudio de los tubos sonoros; la primera descripción del fusil de viento desde CTESIBIO, y experimentos sobre la dilatación del aire; el proyecto de un telescopio con espejos parabólicos, del que desistió porque DESCARTES lo consideró poco práctico e inferior al anteojo de refracción; y, en fin, un higroscopio formado por una tripa cuya tensión se apreciaba por el sonido que producía.

En 1636, descubrió las leyes de vibración de las cuerdas, leyes que pueden enunciarse del modo siguiente: El

número de vibraciones de una cuerda es inversamente proporcional a su longitud, a su grosor y a la raíz cuadrada de su densidad y directamente proporcional a la raíz cuadrada de su tensión. La primera parte de esta ley o sea la relación entre el número de vibraciones de una cuerda vibrante y su longitud, había sido descubierta casi al mismo tiempo por GALILEO. El estudio de las vibraciones de las cuerdas no había hecho progreso alguno desde la antigüedad, fuera de algunas observaciones realizadas por FRANCISCO BACON. Mersenne volvió a tratar el punto cuyo mayor estudio había de ser continuado por SAUVEUR y por TAYLOR.

Mersenne midió la velocidad del sonido y obtuvo el valor de 1380 pies de París por segundo, pero, como su contemporáneo GASSENDI, cometía el error de no tomar en cuenta los desplazamientos del aire. Veremos como, en todo el siglo XVII y en el XVIII, se realizaron numerosas determinaciones de la velocidad del sonido.

Mersenne fué el primero en estudiar científicamente la reflexión del sonido, reflexión ya observada empíricamente por los antiguos. Estableció la distancia mínima a la cual debe colocarse el observador para percibir una separación entre el sonido emitido y el sonido reflejado. El mismo fenómeno fué estudiado también por KIRCHER y por F. BACON, pero fué EULER quién llegó el primero a la explicación exacta del eco.

En su estudio del movimiento del péndulo, Mersenne enunció por vez primera la limitación de la condición de isocronismo a los pequeños arcos pues se expresó que "para un arco mayor, el péndulo exige más tiempo". Esta condición había pasado inadvertida a GALILEO, pero debe recordarse que Mersenne publicó su trabajo en 1644 o sea después de haber estado en Florencia, donde la ACADEMIA DEL CIMENTO parece haber tratado el punto con anterioridad.

En un interesante trabajo sobre el principio de PASCAL, PEDRO DUHEM (1) demuestra que las principa-

(1) Revue Générale des Sciences, 15 de Julio de 1905.

les proposiciones del "Tratado del Equilibrio de los Licores" de PASCAL, se encuentran ya en la "Cogitata Physico Mathematica" de Mersenne (1644). Observa al mismo tiempo que estas proposiciones, que en parte se encontrarían en VINCI, BENEDETTI (1585), GALILEO (1612), DESCARTES (1637), y TORICELLI (1644), habían sido establecidas todas por el físico flamenco STEVIN (1586) y sin que éste se haya aparentemente inspirado en otras obras de hidrostática.

Fué Mersenne quien hizo conocer, aunque indirectamente, a PASCAL, la experiencia de TORRICELLI; pero aquí los derechos de TORRICELLI, de DESCARTES, de PASCAL y de Mersenne en los distintos descubrimientos relativos al establecimiento de la existencia de la presión atmosférica ofrecen ciertas dificultades para el historiador.

Ya estableceremos, al estudiar a DESCARTES y a TORRICELLI, sus méritos respectivos en la destrucción de la creencia en el "horror al vacío" como explicación de los fenómenos debidos a la presión del aire. En cuanto a la demostración de la existencia de esa presión por medio de la observación del descenso de la columna barométrica a una mayor altura, veremos en qué circunstancia PASCAL realizó la célebre experiencia que ha hecho atribuír a este sabio toda la gloria de tan hermosa demostración.

En otro estudio histórico, PEDRO DUHEM (1) nos demuestra que Mersenne fué el verdadero inventor de esa comprobación de la existencia de la presión atmosférica, que PASCAL realizó en 1648 en el Puy-de-Dome. Dice, en efecto, Mersenne en su última obra "Nuevas Observaciones Físico-Matemáticas (1647):

" Si el cilindro de aire es la causa de la suspensión del
" mercurio a la que hace equilibrio, parece que este ci-
" lindro de aire será más corto y que, por consiguiente,
" el cilindro de mercurio será de menor altura cuando
" se observara arriba de una torre o de una montaña".

---

(1) Revue Générale des Sciences, 15 y 30 de Setiembre de 1906.

Pero de recordarse además que DESCARTES tiene también derechos a esa iniciativa pues parece comprobado que DESCARTES visitó a PASCAL antes de su experiencia y que escribió a Mersenne, al respecto, también con anterioridad. En el mismo trabajo, en fin, DUHEM hace notar que Mersenne también estaba en correspondencia con JUAN REY, quien le había comunicado apreciaciones de mucho interés acerca de la presión del aire.

Como conclusión de lo que acabamos de señalar acerca de las actividades científicas de Mersenne, puede afirmarse que este sabio fué un gran coordinador y animador de las ciencias y puede asegurarse aún que no limitó su misión al importante papel de inteligente intermediario entre los sabios sino que intervino personalmente en la solución de numerosos problemas de fundamental importancia científica, aunque resulte a veces difícil deslindar con precisión la obra original del sabio de su obra, no menos útil, de intermediario y de comentarista.

SNELLIUS
(1591-1626)

Ley de la refracción.

WILLEBRORD SNELLIUS, (Snell, en holandés), matemático y astrónomo holandés, nació en Leyden en 1591 y murió en la misma ciudad en 1626. Era hijo de un profesor de matemáticas de la Universidad de Leyden de la que fué profesor él mismo.

Veremos más adelante que DESCARTES publicó en su obra de "Dióptrica", en 1637, la ley de la refracción de la luz, que puede expresarse por la fórmula: $n = \frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r}$ o sea que "La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es constante para dos medios deter-

minados." VOSSIO (1) y HUYGHENS sospecharon a DESCARTES de haber copiado esta ley de un manuscrito inédito escrito por Snell y en el cual expresaba la misma ley por la fórmula: $n = \frac{\text{cosec. r}}{\text{cosec. i}}$ El hecho de que DESCARTES vivió en Holanda y tenía en ese país numerosas relaciones científicas permite a primera vista dar crédito a la sospecha de que hubiera plagiado al matemático holandés, pero por otra parte, el hecho de que llegó naturalmente a esta ley después de establecer una larga teoría y después de hacer un detenido estudio de la refracción, mientras que Snellius llegó a establecerla por un procedimiento experimental, permite también suponer que los dos llegaron independientemente uno de otro a la misma conclusión. En todo caso puede decirse, como lo hace MONTUCLA:

" Si no debemos a DESCARTES el descubrimiento
" de la ley de la refracción, no se le puede discutir al
" menos el mérito de haber dado la primera explicación
" razonable, deducida de los principios de una sana fí-
" sica" (2)

Muchos historiadores de la física se han ocupado de la acusación hecha contra DESCARTES, y entre los últimos debemos citar a KRAMER (1883) y a KORTEWEG (1896), que han descubierto documentos que tienden a demostrar la absoluta honestidad de DESCARTES. Por estos trabajos se llega a probar: 1º Que DESCARTES descubrió la ley hacia 1627 o 1626 y que Snellius la estableció en 1625 ò 26. DESCARTES no tuvo pues conocimiento del trabajo de Snellius en su primer estada en Holanda (1617-19),

---

(1) GERARDO JUAN VOSSIO, sabio holandés, nació en 1577 y murió en 1649. Fué discípulo de SNELLIUS en la Universidad de Leyden desde 1595 hasta 1598, fecha en que obtuvo el título de Doctor y en que empezó a enseñar en la misma Universidad. Se ocupó especialmente de teología y literatura y sus obras sobre esta materia le conquistaron mucha fama. Su hijo ISAAC VOSSIO (1618-1689), que se ocupó de teología, historia y ciencias, no fué menos célebre. Fué él quien publicó por primera vez la ley de SNELLIUS en 1662. Hizo algunas observaciones sobre capilaridad, antes que BORELLI.

(2) Histoire des Mathématiques. A. Montucla. Vol. 2º, pág. 182.

ni en su segunda (1621-22) y después volvió a Holanda en 1629, después de haber establecido la ley.

2º Que GOLIUS (1), amigo de Snellius, sólo descubrió el manuscrito de éste en 1632, cuando DESCARTES ya conocía su ley y la había comunicado a varios sabios.

Debemos agregar que Snellius escribió importantes trabajos matemáticos y fué el primero en medir un grado de meridiano por el método trigonométrico de triangulación.

GASSENDI
(1592-1655)

Propagación única de sonidos de distintos tonos. El atomismo.

PEDRO GASSENDI, o más bien GASSEND, nació en 1592 en Champtercier, en Provenza, y murió en París en 1655.

Hijo de modestos agricultores, se hizo notar por su inteligencia y maravillosa memoria; a los 16 años, ganó una cátedra de retórica en Aix, pero renunció a ella para proseguir su preparación para la carrera eclesiástica.

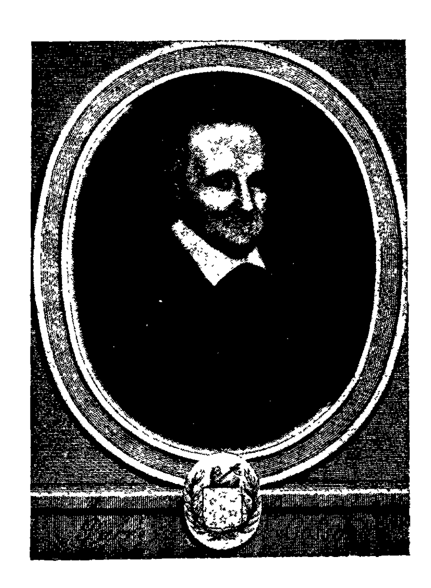
Recibió el título de Doctor en Teología en Avignon, y ganó en concurso la cátedra de Teología en la Universidad de Aix, donde pronto se hizo conocer por sus ataques a la filosofía peripatética. En 1641, alcanzó un puesto importante en el clero, pero cuatro años más tarde renunció a sus funciones eclesiásticas para aceptar la cátedra de matemáticas en el Colegio de Francia, que el cardenal de Richelieu le ofrecía.

Sus obras principales son filosóficas y astronómicas, pero se interesó por todas las ciencias experimentales y, aunque en física no ha aportado ideas nuevas ni ha hecho descubrimientos trascendentales, ha ejercido una influencia buena sobre esta ciencia.

---

(1) GOLIUS (La Haya 1596-Leyden 1667) astrónomo holandés, pasó dos años en Africa y tradujo obras de astrónomos árabes.

Atacó muy exactamente algunas ideas de ARISTOTELES en una obra que publicó en 1624, pero lo hizo con bastante prudencia para no comprometerse. En acústica, demostró que aquél se equivocaba al creer que los sonidos graves se propagan más lentamente en el aire que los sonidos agudos, y que a ello se deben los distintos tonos; pues explicó que las diferencias de tono se deben a la frecuencia de las ondas sonoras y demostró que los sonidos de distintos tonos se propagan con la misma velocidad, midiendo el tiempo que tardan en recorrer una misma distancia el estampido de un cañón y el de un fusil. Este experimento le dió un valor bastante aproximado de la velocidad del soni-



PEDRO GASSENDI

do y es probablemente la primera medida que se haya hecho de esta velocidad, ya que es anterior a la de Mersenne, que adolece del mismo defecto de no tomar en cuenta los desplazamientos del aire.

Sus ataques a la filosofía escolástica podrían haberlo puesto de acuerdo con DESCARTES, pero su defensa de

las ideas de GALILEO y de la teoría atómica lo apartaron de ese filósofo con quien emprendió una lucha que dividió a los intelectuales en "Cartesianos" y Gassendistas".

Gassendi reformó la teoría atómica de LUCRECIO y EPICURO, admitiendo la existencia de átomos y moléculas y, aunque la exageró hasta llegar a hablar no sólo de átomos de luz (teoría de la emisión) sino de átomos de frío, de calor, de gusto, de olfato, etc., supo defender la creencia de la limitada divisibilidad de la materia, que fué negada por DESCARTES y adoptada por BOYLE y por NEWTON. Esta misma teoría lo llevó a concebir casi exactamente la constitución y el movimiento interno de los gases.

Defendió también en Francia las ideas de GALILEO y de COPERNICO y se hizo así de grandes enemigos entre los cuales recordaremos a MORIN (1).

Gassendi emitió ideas muy claras acerca del paralelismo del eje de la Tierra, que consideró como una consecuencia lógica de su movimiento de rotación. Poco le faltó para extender esta deducción a la conservación del plano de oscilación del péndulo, pero no llegó a expresar este concepto y dejó a EULER el mérito de llegar a dicha conclusión por medio de una labor analítica profunda.

Gassendi fué el amigo de los sabios y filósofos más celebrados de su tiempo: GALILEO, KEPLERO, HOBBES, PASCAL, MERSENNE...

En cuanto a su obra filosófica y a su influencia sobre las matemáticas, la astronomía o sobre la moral y la historia, no nos corresponde estudiarlas aquí.

---

(1) JUAN BAUTISTA MORIN, nació en Villefranche en 1583 y murió en París en 1656. Era médico y astrónomo y, gracias a la protección de Richelieu, fué nombrado profesor de matemáticas y astronomía en la Universidad de París. Atacó la teoría de COPERNICO y empezó a este propósito una lucha violenta contra GASSENDI. lucha que no terminó sino con la muerte de este último. En astronomía práctica ha hecho importantes trabajos y fué el primero en pensar en el micrómetro (1624).

MARCI
(1595-1667)

Teoría del choque. Isocronismo del péndulo. Precursor de Newton en la descomposición de la luz.

JUAN MARCO MARCI DE KRONLAND nació en Bohemia en 1595 y murió en 1667, en Praga, donde enseñaba la medicina.

Publicó en esa ciudad, en 1638, una obra en la cual se encuentra una teoría de los choques de los cuerpos blandos, frágiles y duros, que precede exactamente de treinta años las que enunciaron simultáneamente HUYGHENS, WALLIS y WREN. En el mismo año de 1638, BALIANI (1) publicó en Génova dos volúmenes sobre el estudio del choque, pero no diferenciaba en este estudio los cuerpos elásticos de los cuerpos rígidos como tampoco lo hicieron, en el mismo año de 1638, GALILEO al ocuparse del mismo asunto, o seis años más tarde DESCARTES en su célebre estudio del mismo fenómeno en el curso del cual estableció el principio de la conservación de la cantidad de movimiento.

En 1638, Marci demuestra haber conocido el isocronismo del péndulo ya observado por GALILEO pero acerca del cual este sabio no había hecho aún publicación alguna, como bien lo recordamos. Marci tiene además el mérito de haber emitido la idea de aplicar el péndulo a la medida del tiempo, sin llegar sin embargo a realizar el invento del reloj de péndulo que corresponde a HUYGHENS.

En 1648, Marci publicó una obra de óptica en que estudiaba, mucho antes que NEWTON, la descomposición y la dispersión de la luz blanca, después de haber empleado el mismo procedimiento experimental que utilizara el gran sabio inglés o sea: la colocación de un prisma detrás de una

(1) G. B. BALIANI (1582-1666), físico de la escuela de GALILEO. Estudió también la caída de los cuerpos e hizo un interesante experimento sobre el calor producido por frotamiento, haciendo hervir agua colocada en un vaso de hierro contra cuya base frotaba un disco que giraba a gran velocidad.

abertura practicada en la pared de una cámara oscura a fin de hacer penetrar en el prisma un haz luminoso.

Observó detenidamente el espectro y afirmó que cada uno de los colores producidos por la refracción ya no puede cambiar con una nueva refracción, pero creyó poder afirmar que se transforma por medio de una condensación. A pesar de este error y aunque sus afirmaciones fueron hechas en forma vaga que no permite asegurar que su autor tuvo clara conciencia de su importancia, causa extrañeza que sus obras no hayan tenido éxito en Alemania y que los historiadores alemanes no estudien más detenidamente a Marci de Kronland, que fué indudablemente uno de los hombres de más valer de su tiempo.

DESCARTES
(1596-1650)

Su método. La extensión. Niega el vacío y el atomismo. El éter. Inercia. El choque. Conservación de la cantidad de movimiento. Los "torbellinos". Calor-movimiento. La presión atmosférica. El ludión. Teoría de la presión de la luz. Su propagación instantánea. Ley de la refracción. Arco iris.

RENATO DESCARTES, Señor del PERRON, nació en La Haye, en Turena, en 1596, y murió en Estocolmo en 1650.

Fué un niño de salud delicada y, según sus propias palabras, "había heredado de su madre", que murió poco tiempo después de darlo a luz, "una tos seca y una palidez que perduraron hasta su edad de veinte años y que hacían, a todos los médicos que le vieron en aquella época, condenarlo a morir joven". Su padre, que era Consejero del Parlamento de Bretaña, no quería hacerle estudiar muy joven para no cansar su constitución débil pero, admirado por la

inteligencia del que llamaba su "pequeño filósofo", resolvió, en 1604, enviarlo al colegio de jesuitas de La Fleche donde permaneció hasta 1612 y tuvo por amigo a MARINO MERSENNE, aunque éste le era mayor en siete años. En sus primeros años de colegio fué atraído por la literatura



DESCARTES
(Cuadro de Franz Hals)

y hasta la poesía, pero en el último se dedicó especialmente al estudio de las matemáticas, que lo encantaban por la seguridad y la evidencia de sus deducciones. Decía: "Yo es
" timaba mucho la elocuencia y estaba enamorado de
" la poesía, pero pensaba que ambas eran dotes del es-
" píritu más bien que frutos del estudio", y en otra parte: "Me agradaban sobre todo las matemáticas, a cau-
" sa de la certidumbre y la evidencia de sus razones,
" pero no observaba aún su verdadero empleo y, pen-
" sando que no servían más que a las artes mecánicas.
" me extrañaba de que, siendo sus fundamentos tan

" firmes y tan sólidos, no se hubieran construído sobre
" ellas nada más elevado."

Al salir del colegio, pasó un año en Rennes con su familia; luego se fué a París, donde llevó una vida desarreglada de la que lo alejó su fiel amigo MERSENNE, y, dedicándose otra vez al estudio, recibió en Poitiers los títulos de bachiller y licenciado en derecho (1616). A los veintiún años accedió a los deseos de su padre y empezó la carrera militar, pero lo hizo menos por afán de aventuras y glorias que para poder viajar y ponerse en contacto con personas de saber. Se enroló en los ejércitos del científico guerrero Mauricio de Nassau, en Breda, donde conoció a muchos sabios holandeses de los que este príncipe gustaba rodearse.

Una anécdota quiere que Descartes se detuviera un día delante de un cartel por el cual un matemático proponía a sus colegas varios problemas y, como no entendiera el holandés, rogó a la persona que se encontraba a su lado, de explicarle las condiciones del científico desafío. Su vecino, que resultó ser el filósofo y matemático BEECKMAN (1), director del liceo de Dordrecht, le dió todos los informes necesarios, y, cuando, pocas horas más tarde, recibió la visita de Descartes que le traía la solución de los problemas, su admiración fué tan grande que de ella nació una amistad imperecedera... Lo único seguro de esta anécdota es la admiración y la amistad mutua de BEECKMAN y Descartes, y es por lo que queda de la correspondencia que mantuvieron estos dos sabios que los biógrafos pudieron aclarar muchos puntos oscuros de la vida o de las ideas del gran filósofo francés. Fué para ese amigo holandés que Descartes escribió en 1618 un tratado de música y un tratado de física y matemáticas en el que se habla de la presión del agua sobre la pared de los recipientes y de la caída de los cuerpos.

---

(1) ISAAC BEECKMAN (murió en 1677) matemático holandés, publicó en 1644 su "Matemática-física".

En la corte de Mauricio de Nassau, nuestro sabio estudió también la pintura, la arquitectura militar, y el idioma holandés.

En 1619, abandonó el ejército de Nassau y se fué a Alemania, donde asistió a la coronación del Emperador Fernando II y sirvió bajo el mando del duque de Baviera; luego pasó a Hungría donde entró en los ejércitos del conde de Bucquo. Se retiró completamente del estado militar en 1621, después de haber tomado parte en la batalla de la Montaña Blanca.

Durante su permanencia en Hungría, en un invierno riguroso, "no encontrando ninguna conversación que lo entretuviera, y no teniendo, tampoco, afortunadamente, pasiones ni cuidados que lo turbaran, permanecía todo el día encerrado solo en una estufa (1), donde descansaba entreteniéndose con su pensamiento" y, en la calma del retiro, su espíritu concibió el plan general de su método famoso y acarició el sueño de una ciencia que abarcara todas las demás, basada únicamente sobre principios evidentes, una especie de "Matemática Universal". Esta idea preocupaba a Descartes desde algunos años atrás. Tan pronto como salió del colegio, sintió la necesidad de dar rumbos nuevos a la ciencia y cuando, en 1618, en Breda, empezó a resolver grandes problemas de matemáticas y de física, que le eran propuestos por los sabios holandeses, ya lo hacía de un modo personal en que se vislumbraba el método que más tarde explicara. Ya se sentía en él la hermosa ambición de poder por sí solo perfeccionar la ciencia, darle claridad y pureza, despojarla de toda duda, de todo error.

Vuelto a la vida civil, Descartes realizó grandes viajes en Alemania, Holanda, Francia, Suiza, Tirol e Italia en el transcurso de los cuales pudo tener interesantes conversaciones y discusiones con sabios famosos; pero al pasar por Florencia, en 1625, no se preocupó de conocer a GALILEO

(1) "ESTUFA" significa aquí un pequeño cuarto en medio del cual se encuentra una columna de cerámica, que rodea a su vez la estufa propiamente dicha.

y es difícil saber si se debe atribuir esto a un exceso de prudencia o al temor a las persecuciones de la Iglesia o si, como lo afirman algunos biógrafos, el gran filósofo francés siempre sintió animosidad y envidia hacia el gran genio pisano.

De 1625 a 1628, habitó en París, donde llevó vida social y se ocupó de la fabricación de lentes y espejos y, en este último año, sirvió voluntariamente en el sitio de La Rochela.

En 1629, partió para Holanda (1) donde permaneció veinte años, casi los últimos de su vida, y escribió sus principales obras.

En 1633, concluyó el "Tratado del Mundo", obra extensa de geometría, física y filosofía, en que defendía la teoría de COPERNICO. No la hizo publicar por miedo a las persecuciones religiosas de las que recién había sido víctima GALILEO; pero, en 1637, hizo conocer una parte de esta obra (2), que llamó "Discurso del método para guiar bien a la razón y buscar la verdad en las ciencias, con la dióptrica, los meteoros y la geometría" y que mandó a MERSENNE para que éste solicitara el privilegio de publicación al rey, quien lo concedió dándole libertad de publicar "todo lo que había escrito y pudiera escribir durante su vida".

En 1637 también, y a pedido de CONSTANTINO HUYGHENS (padre de Cristiano), escribió un trabajo titulado: "Explicación de las máquinas con que una pequeña fuerza levanta fardos pesados". Este trabajo es un pequeño tratado de estática.

En 1641, publicó sus "Meditaciones Metafísicas", que son en parte la continuación de su explicación del método. En 1644 expuso su sistema filosófico con el título de "Principios Filosóficos" en que trata cuestiones científicas y de metafísica.

---

(1) Léase acerca de la estada de Descartes en Holanda: GUSTAVE COHEN, "Ecrivains français en Hollande" (Champion. París, 1920).

(2) Tuvo, sin embargo, recurso al "estratagema", como lo denominara LEIBNITZ, de los "torbellinos", a fin de no reproducir en su forma pero sí en su fondo, las afirmaciones, reprobadas por la Iglesia, acerca del movimiento de la Tierra.

Este período de la vida del célebre filosófo es el más triste, pues a la pena que le causó la muerte de su padre y de una hija natural, se agregaron los ataques y las amenazas de la Iglesia, tanto protestante como católica, que veían en sus obras enemigas de la fe; pero supo salvarse de las persecuciones con una prudencia que, según BOSSUT, llegaba al exceso, y gracias a la influencia de sus amigos y protectores.

Si numerosos eran sus detractores y grande la lucha que contra él se había emprendido, no menos numerosos eran sus amigos y fieles partidarios como REGIS (1), GEULINCX (2), el duque de LUYNES (3), los jansenistas ARNAULD (4) y NICOLLE (5), MERSENNE, MYDORGE (6), CLERSELIER (7) HARDY (8), FERMAT (9), DE BEAUNE (10), JUAN DE WITT (11), profesores holandeses y franceses y en fin, el mismo MAZARINO quien, en 1647, le hizo otorgar una pensión de 3.000 libras. Es en esta época que, en el bienestar que le daban esta pensión y sus propios bienes, escribió sus obras de fisiología "Del hombre" y "De la formación del feto".

En 1649, apareció su "Tratado de las Pasiones del Alma", obra de psicología y fisiología que había escrito para

---

(1) REGIS, profesor en la Universidad de Utrecht, sostuvo con VOET, rector de la misma, grandes y animadas discusiones a favor de Descartes, quien le aconsejaba más prudencia.

(2) GEULINCX, filósofo belga. (Amberes 1625-Leyden 1669). Profesor en Lovaina; durante doce años defendió el cartesianismo, pero perdió su cátedra y se fué a Leyden donde siguió enseñando filosofía y repudió el catolicismo. Fué, como cartesiano, precursor de ESPINOSA y MALEBRANCHE.

(3) El DUQUE DE LUYNES, Condestable de Francia, Marqués de Albert, nació en 1578 en Languedoc y murió en Guyena en 1621. Fué uno de los hombres más influyentes durante el reinado de Luis XIII; tradujo al francés las "Meditaciones", que Descartes había publicado en latín.

(4) ARNAULD (París 1612-1694) fué un filósofo profundo; fué obispo de Chartres; tomó la defensa del "jansenismo" y tuvo que huir a Holanda para no ser perseguido por los Jesuítas. Escribió objeciones al cartesianismo, pero ayudó con sus ideas filosóficas a la propagación de esta teoría.

(5) PEDRO NICOLLE. (Chartres 1625-París 1695). Entró en Port Royal y compartió las glorias y las desgracias de los jansenistas y particularmente de ARNAULD. Fué allí profesor de literatura de

la princesa Isabel, hija del elector palatino Federico V, y de quién se había hecho amigo durante su primera estada en Holanda.

La reina Cristina de Suecia admiraba desde mucho tiempo las obras de Descartes y estaba en correspondencia con él. Influenciada además por el ministro de Francia, Chanut, íntimo amigo del filósofo, rogó a éste viniera a su corte. En 1649, Descartes llegó a Estocolmo donde fué magníficamente recibido; pero el riguroso clima de Suecia perjudicó su salud precaria y, en el invierno de 1650, una congestión pulmonar provocó su muerte. HUYGHENS, que tenía 21 años, escribió un epitafio que terminaba con estos versos: "Nature, prends le deuil, viens plaindre la première—Le grand Descartes, et montre ton désespoir,—Quand il perdit le jour, tu perdis la lumière.—Ce n'est qu'à ce flambeau que nous t'avons pu voir.—"

En el breve estudio que hacemos de la obra de Descartes, no podemos dar una idea exacta de su valor, pues tenemos que aislar del vasto plan filosófico y científico, la parte física que nos interesa, despreocupándonos de su metafísica, que supo magistralmente unir a la ciencia, y sin ha-

---

RACINE. Defendió a ARNAULD cuando éste huyó, y tuvo que seguirlo en su destierro. Inspiró mucho a PASCAL en sus "Provinciales".

(6) MYDORGE, matemático francés, (París 1584-1647), fué amigo íntimo de Descartes y gran propagador de ciencia

(7) CLERSELIER, abogado francés (1614-1686) era amigo de Descartes y fué su secretario y corresponsal después de la muerte del padre MERSENNE. Publicó los manuscritos que Descartes dejó después de su muerte y tradujo al francés las refutaciones hechas a las objeciones dirigidas contra las "Meditaciones".

(8) HARDY, matemático francés (1598-1678).

(9) FERMAT, jurisconsulto y matemático francés (1601-1655). Estableció una teoría de máxima y mínima que le merece el título de fundador del cálculo diferencial y, al mismo tiempo que PASCAL, estudió el cálculo de probabilidades. Defendió las teorías de GALILEO y entró en fuerte discusión con Descartes, pero amigos comunes los pusieron, si no de acuerdo en su discusión, al menos en relaciones que se volvieron amistosas.

(10) DE BEAUNE, matemático francés (1601-1652). Descartes publicó en su "Geometría latina" la única obra que de él nos queda.

(11) JUAN DE WITT (1625-1672), el célebre hombre político holandés, era geómetra, antes de desempeñar el hermoso papel patriótico que le costó la vida.

blar tampoco de su obra matemática con que fundó la geometría analítica y aportó grandes progresos al álgebra. No podemos sin embargo, limitarnos al estudio de los descubrimientos físicos de Descartes sin ocuparnos primero de su método científico, pues ha tenido una influencia tan grande sobre la física, que coloca a su autor en un plano superior al de muchos otros sabios, aunque estos hayan hecho mayores descubrimientos o no hayan incurrido en tan grandes errores científicos.

En el "Discurso del Método" se encuentran los preceptos sobre los cuales Descartes edificó toda su obra:

> " El primero era no admitir jamás como verdadera " ninguna cosa que no conociera evidentemente ser tal, " es decir, evitar cuidadosamente la precipitación y la " prevención y no comprender en mis juicios sino lo " que se presentara tan clara y distintamente a mi es- " píritu, que yo no tuviera ninguna ocasión de ponerlo " en duda". "El segundo, dividir cada una de las " dificultades que encontrase en tantas partes como " pudiera y fuere necesario para resolverlas mejor." " El tercero, dirigir ordenadamente mis pensamientos, " comenzando por los objetos más sencillos y más fá- " ciles de conocer para subir poco a poco, como por " grados, hasta el conocimiento de lo más complejo " y suponiendo así mismo un orden entre los que no " procedieran naturalmente unos de otros." "Y el últi- " mo, en hacer en todo, enumeración tan completa y " tan generales revisiones, que estuviese seguro de no " omitir nada."

En su primera regla establece la necesidad de la evidencia absoluta como única prueba de verdad, la evidencia que no permite a la razón ninguna duda. Dios, según él, ha puesto en nuestro espíritu principios absolutos, elementos de razonamientos, "semillas de verdad" con las cuales se puede llegar a todos los conocimientos. La segunda regla aconseja la división de las dificultades, para que éstas sean menores y más al alcance de nuestro entendimiento. La terce-

ra regla indica que se debe partir de estos elementos, combinarlos para llegar a lo más complejo sin haber dejado nunca introducirse ningún razonamiento que no sea absolutamente seguro, "formando esas largas cadenas de razones, todas sencillas y fáciles de que los geómetras acostumbran servirse para llegar a sus más difíciles demostraciones", y por este método no hay cosas de la naturaleza "tan remotas que no se llegue a ellas, ni tan ocultas que no se las descubra". En fin, explica más extensamente su última regla al decir que "cuando no podemos remitir a la intuición un conocimiento dado, debemos rechazar el silogismo y tener fe únicamente en la inducción, único recurso que entonces nos resta".

La influencia de este método ha sido enorme. Los sabios del Renacimiento habían empezado a despojar la ciencia de las obscuridades, las malas interpretaciones, las cualidades ocultas, las causas finales, las formas substanciales todas esas ideas o más bien, ese palabrerío de la antigüedad y de la Edad Media; pero no habían podido desprenderse completamente de ellas y el mismo GALILEO conservaba aún la "resistencia al vacío" de los peripatéticos. Descartes "como un hombre que camina solo y en las tinieblas, se resolvió a andar tan lentamente y a usar de tanta circunspección en todas las cosas que aunque avanzara muy poco se librara en cambio, de caer", y su obra ha sido purificadora para la ciencia.

Además, merece ser llamado como lo hace FOUILLEE "El Profeta de la Ciencia del Porvenir" pues su concepto de la física teórica ha hecho dar a esta ciencia un paso enorme en su evolución (la revolución cartesiana) y la ha dirigido hacia los grandes descubrimientos del siglo XIX de FRESNEL, MAYER, FOURIER, MAXWELL, etc., pues muchos de estos emanan de su método deductivo y de su eterno afán de buscar las causas iniciales. CORNU dijo en 1900: "El espíritu de Descartes es la antorcha de la física moderna".

Se ha reprochado a Descartes haber repudiado el experimento, que GALILEO había establecido como ba-

se del método científico; pero no es estrictamente exacto este ataque, pues, en la obra del filósofo, son numerosos los pasajes en que habla de la importancia del experimento en la ciencia. No creyó sin embargo, que el experimento debe guiar nuestras investigaciones, pero lo consideró necesario cuando su método deductivo lo llevaba a varias soluciones "razonables" de un problema, para diferenciar la solución real que el experimento comprueba, de las demás soluciones que, aunque imaginarias, no son imposibles cuando emanan de un razonamiento exacto y lógico.

Sin duda, desde el punto de vista estrictamente de la física, el método cartesiano que ha permitido a su autor obtener resultados halagueños en óptica y en mecánica, le hizo cometer también graves errores. No podía ser de otro modo, tratándose de una ciencia típicamente experimental y de un método alejado de los hechos y de la realidad experimental, más apto para la filosofía y la metafísica. En física propiamente dicha, no puede darse pues al método de Descartes la misma importancia, porque no tuvo la misma fecundidad, que al método experimental de GALILEO y de KEPLERO, por elevados que sean los valores intrínsecos del método cartesiano.

Pasemos ahora a un rápido resumen de lo que Descartes realizó en física.

Desde 1633, su gran sueño era poder hacer una "física general" que abrazara el estudio completo del Universo, basada en una metafísica perfecta y estableciendo como axiomas todos los principios evidentes, convencido de que Dios ha concebido el mundo, como nuestra razón nos lo indica cuando, sin precipitación, nos dejamos sólo guiar por ella.

Edificó así esta ciencia sobre sus conceptos, tomados aparentemente a priori, de la materia y de los movimientos.

La única cualidad verdadera de la materia es para él la extensión geométrica, pues "la naturaleza de la materia o del cuerpo no consiste en que sea una cosa dura, o pesada, o coloreada o que impresione a nuestros sentidos de cualquier otro modo". No admite los átomos, pues la razón

no permite concebir una extensión indivisible y "aun cuando Dios la hubiese hecho tan pequeña que no fuese posible a ninguna criatura dividirla, él no ha podido privarse a sí mismo del poder que tenía de dividirla y diremos que la más mínima extensión que exista en el mundo puede ser siempre dividida, porque ella es divisible por naturaleza". Por la misma razón de que la extensión es infinita, concibe naturalmente el mundo como ilimitado. No reconoce tampoco la posibilidad del vacío, porque no se puede delimitar un espacio que no tenga materia, pues el solo hecho de atribuírles extensión es ya considerarlo como materia, y la ausencia de gas, líquido y sólido no es el vacío, sino la materia en un estado más sutil, el éter.

No hay más que una sola materia en el universo y lo que provoca en ella diferencias es la disposición relativa y el movimiento de sus partes.

Su concepto del movimiento no es menos matemático y sus leyes son establecidas a priori sin recurrir al experimento, confiando simplemente en su evidencia. Dios creó el movimiento al mismo tiempo que la materia y separadamente de ella, y sus leyes naturales son: "que cada cosa perdura en el mismo estado mientras pueda y que no se cambia una sino por la acción de las otras"; "que cada parte de la materia en particular no tiende nunca a continuar moviéndose según lineas curvas sino según lineas rectas". Al buscar una ley general de los choques (1), dice equivocadamente: "que si un cuerpo que se mueve encuentra otro más fuerte que él, no pierde nada de su movimiento y que si encuentra uno más débil al que pueda mover pierde tanto como da a ese cuerpo" y que, por consiguiente, la cantidad de movimiento que Dios ha puesto en la materia es siempre la misma. En esta ley del choque (1644), en que supone que un cuerpo chico que choca con uno más grande vuelve hacia atrás con la misma velocidad, se encuentra enunciado no obstante el error, el principio de conservación de la cantidad de movimiento (producto de la masa del cuer-

(1) Véase MARCI DE KRONLAND.

po por la velocidad), principio cuyo establecimiento marca sin duda una fecha en la historia de las ciencias y, especialmente, en la historia de los conceptos fundamentales de la mecánica así como en la historia del principio de la conservación de la energía. Descartes estudió siete casos distintos de choques, haciendo variar las condiciones de reposo o de movimiento de los cuerpos, su magnitud y su velocidad. Expresó el principio de la conservación del "grandor del movimiento" que expresaba por el producto del peso por la velocidad, pues aún no poseía con claridad el concepto de masa que confundía con el de peso como también lo hicieron NEWTON, GALILEO y KEPLERO. Pero Descartes llegó a resultados exactos en algunos casos, inexactos en otros, porque no hizo distinción entre los cuerpos elásticos y los cuerpos no elásticos, error u omisión que también cometieron sus predecesores GALILEO, MARCI y BALIANI (1638).

HUYGHENS, que tuvo, el primero, un concepto más exacto de la masa, estableció (1669) el principio de la conservación del momento y, en el estudio de choques de cuerpos elásticos, estableció la conservación de la suma del producto de las masas por el cuadrado de la velocidad ($m\,v^2$), en franca oposición con el criterio cartesiano, que era generalmente admitido.

Descartes no sólo estableció el principio "universal" de la conservación del "grandor del movimiento" (cantidad de movimiento: m.v) pero estableció también la ley de igualdad de esta magnitud con el producto de la fuerza por el tiempo, producto que llamó "impulso de la fuerza".

LEIBNITZ, que hizo volver en la mecánica de Descartes la idea metafísica de "fuerza" unida a la materia, en sus "Breves demostraciones de errores cartesianos" (1686), se opone decididamente al concepto cartesiano y distingue claramente la "fuerza viva" de un cuerpo en movimiento (expresada por mv^2 y no mv) de la cantidad de movimiento de un cuerpo en reposo. Basándose en este conjunto de antecedentes, JUAN I. BERNOULLI estableció

en fin, en 1704, el principio de la conservación de la fuerza viva.

En su sistema del Universo, Descartes atribuye el movimiento de los astros a "torbellinos" de una materia sutil, en una hipótesis fantástica del mecanismo de la creación, que concibe el Universo como una máquina enorme en la cual cada astro es un rodaje con su centro de posición determinado por Dios, y cada sistema, con un centro eje, es un elemento distinto de la máquina universal, que a su vez ha de tener el centro principal. De allí deriva el estudio del mecanismo de esta fantástica máquina, el análisis de sus condiciones de equilibrio y de composición de movimientos. Era un magnífico edificio basado sólo en especulaciones cerebrales, que recuerda por su valor intelectual y por sus defectos científicos, los procedimientos de los antiguos filósofos.

Esta teoría tuvo enorme éxito, pero NEWTON y D'ALEMBERT vencieron a sus numerosos partidarios.

Descartes concibió el calor como movimiento de las partes pequeñas de los cuerpos, cuando dijo que "una agitación de las partecillas de los cuerpos terrestres la denominamos en ellos calor, ora haya sido excitado por la luz solar, ora por alguna otra causa..."

La influencia de Descartes en el descubrimiento de la presión atmosférica y, por consiguiente, en la destrucción del concepto de "horror al vacío" es de gran interés histórico.

En 1631, el 6 de marzo, Descartes presentó a la Academia de Ciencias una carta en la cual recusaba por completo el error del "horror al vacío" y atribuía a la presión del aire atmosférico la suspensión de la columna de mercurio en un tubo cerrado en su extremo superior. Se trataba pues de un experimento similar al que tanta gloria diera a TORRICELLI, aunque éste sólo lo realizara doce años más tarde y sólo lo hiciera conocer en una carta que escribió a Ricci el 11 de junio de 1644.

Pero Descartes hablaba de la explicación del experi-

mento sin atribuirse la idea del mismo, que, según parece, le fuera indicado por un corresponsal anónimo.

El 8 de octubre de 1638, o sea cinco años antes del experimento de TORRICELLI, Descartes escribió a MERSENNE acerca de la observación hecha por GALILEO, sin que lograra éste explicarla, de que en las bombas de pozos de agua el líquido sólo permanece en el caño hasta cierto nivel, y Descartes volvió a expresar su convencimiento de que, aquí también, la columna de agua equilibra el peso del aire.

Explicó así mismo que las capas superiores de la atmósfera ejercen presión sobre las capas inferiores pues el aire tiene peso, pero que el éter contenido en los poros del aire impide que éste se comprima mucho, siendo esta la explicación cartesiana de la elasticidad.

Puede creerse que en el experimento con mercurio, Descartes haya empleado un tubo corto, pues no hace referencia al vacío superior. Pero entendió que el mercurio debía detenerse a cierto nivel (sin expresar cual debería ser la longitud del tubo) pues afirmó que no debía creerse "que es imposible separar el mercurio del fondo del tubo", pero que, para llegar a esto, "se necesitaría una fuerza igual al peso del aire que se encuentra desde allí hasta más allá de las nubes".

Hemos visto además, al estudiar a MERSENNE, que Descartes tiene ciertos derechos de prioridad no en la realización sino en el proyecto del experimento de comprobación de la variación de la presión atmosférica con relación a la altura, experimento que PASCAL hizo realizar con absoluto éxito, en setiembre de 1648 en Puy de Dome, observándose el descenso de la columna barométrica a medida que aumenta la altitud. La prioridad de Descartes en cuanto a la idea de esta experiencia parece ser comprobada, pues Descartes escribió a MERSENNE en setiembre de 1648, varios días antes de realizarse la experiencia de Puy de Dome, que había aconsejado a PASCAL de realizar observaciones de la altura barométrica a distintas altitudes, y la visita de Descartes a PASCAL queda comprobada por

una carta de la hermana de éste, escrita el 25 de setiembre de 1647.

Esta es pues la aclaración de un punto histórico que ha sido ampliamente discutido y estudiado. Las deducciones que de los hechos puedan hacerse no restan valores ni a TORRICELLI ni a PASCAL y nos confirman que si Descartes no se hubiese alejado de los hechos mismos y de la experiencia hubiera obtenido, en física, resultados más efectivos y trascendentales.

Descartes es considarado como el inventor del ingenioso aparato llamado "ludión" o "diablillo de Descartes", aparato que se utiliza en nuestras clases de física elemental para observar las tres clases de sumersión de los sólidos en los líquidos, de acuerdo con la densidad media del sólido con relación a la del líquido. Este aparatito, al cual HEBENSTORFF (1898) ha dado mayor importancia al utilizarlo en el estudio de la propagación de la presión en los líquidos, parece haber sido conocido por CTESIBIO y haber sido descripto nuevamente, con anterioridad a Descartes, por RAFAEL MAGIOTTI (1648), un discípulo de GALILEO.

En electricidad, Descartes dió teorías fantásticas que no pueden tener valor alguno.

No podemos estudiar todos los puntos de la física que Descartes trató en sus obras, pero nos queda hablar de su influencia en óptica.

En su "Dióptrica" (1637) estableció una teoría, en la cual considera la luz como constituída por la presión de partículas duras de un flúido sutil, puesto en acción por el cuerpo luminoso. Muchos historiadores de la física consideran a Descartes como precursor de HUYGHENS (1) en la teoría de las ondulaciones. Nada más inexacto, sin embargo, pues de la teoría de Descartes se deduce la instantaneidad de propagación de la luz, mientras la base de la teoría de HUYGHENS es que la luz necesita tiempo

(1) CORNU llama la teoría de las ondulaciones, la teoría cartesiana de la luz.

para propagarse. Descartes, en efecto, considera que las vibraciones de las partículas del cuerpo luminoso provocan choques en los corpúsculos duros del flúido sutil, que comunican instantáneamente estas vibraciones como una vara que, empujada en un extremo, comunica instantáneamente el mismo movimiento al otro extremo. La presión que ejercen entonces las partículas del éter en la retina provocan la sensación luminosa. Es de observar que NEWTON diferencia bien las dos teorías, la de la "presión" de Descartes y la de las "ondulaciones" de HUYGHENS, pues dice en la pregunta 28 de su tercer libro de óptica: "¿No son erróneas todas las hipótesis que atribuyen la luz a una presión o a un movimiento a través de un mismo flúido... propagado ya en un instante ya en cierto intervalo de tiempo...?"

Esta teoría tendría además antecedentes lejanos igual que la teoría de las ondulaciones o la de las emisiones, pues el origen de la teoría de la luz por la presión puede encontrarse en FILOPON DE ALEJANDRIA (siglo VII), quien comparaba el rayo de luz con un cordel tendido que ejerce sucesivamente tracciones o presiones.

En cuanto al concepto cartesiano de la propagación instantánea de la luz, debemos recordar que hemos visto ya que, desde la antigüedad, existieron simultáneamente dos creencias en cuanto a la velocidad de la luz: la de la propagación instantánea y la de una velocidad tan grande que era imposible medirla. HERON fué uno de los más destacados defensores de este último criterio, que fué compartido por PTOLOMEO y por AL HAZEN. PORTA volvió a la creencia de la instantaneidad, pero GALILEO y la ACADEMIA DEL CIMENTO (1) trataron, aunque por medios impracticables, de medir la velocidad de la luz. Descartes volvió nuevamente a la errónea creencia de la instantaneidad, a pesar de haber afirmado en su teoría de la refracción que la velocidad de la luz es mayor en los ambientes densos que en los más rarificados. Fué debido al prestigio de Descartes que ROEMER tuvo tanta dificultad

(1) Véase más adelante "Academia del Cimento".

en hacer admitir los resultados de su determinación astronómica de la velocidad de la luz y que se vió abandonado, en cuanto llegara a tan hermoso resultado, por CASSINI, que lo había acompañado en el estudio preparatorio.

Más lejos en la misma obra, Descartes estudia el movimiento de las últimas partículas del medio sutil (éter) cuando encuentran un cuerpo. Explica la reflexión como una descomposición de velocidad en una componente paralela a la superficie de reflexión y otra perpendicular. Explica la refracción como una modificación de estas componentes por la resistencia que opone el cuerpo, considerando que la velocidad de la luz es menor en un medio menos denso.

En estas explicaciones, Descartes precedió a NEWTON, que se valió del mismo método, adaptado a la teoría de la emisión. FERMAT, LEIBNITZ y HUYGHENS criticaron esta explicación de la refracción, cuya causa buscaron en el principio de menor acción.

Basado en su hipótesis, Descartes llegó a establecer la ley de la refracción de la luz:

$$\frac{\text{sen. } r}{\text{sen. } i} = n$$

que SNELLIUS había enunciado en forma casi idéntica en un manuscrito inédito. Al hablar de este último sabio hemos dicho la importancia que puede darse a la acusación que se hizo a Descartes de haber conocido y copiado este manuscrito.

Las discusiones acerca de las causas de la ley de la refracción no pusieron en duda la exactitud de la misma y CAVALIERI, BARROW y HALLEY la aplicaron al estudio de las lentes.

En la misma obra, "Dióptrica", Descartes se ocupó de la conformación del ojo y dió una teoría de las lentes, refutada por NEWTON.

En los "Meteoros" (1637) dió la explicación (explicación que sigue siendo en nuestros días la clásica) de la formación del arco iris, que fué aceptada como exacta hasta el siglo XIX (véase AIRY). Esta cuestión había sido es-

tudiada ya por ARISTOTELES(1), SENECA (2), VITELLO (3), BACON (4), TEODORICO (5), MOROLICO (6), FLETCHER (7), GILBERT, KEPLERO y DOMINIS (8).

DESCARTES volvió al estudio del prisma y su explicacón de los colores es curiosa: Afirmó que las pequeñas esferas que constituyen la luz tienen un movimiento de rotación de velocidad variable y un movimiento de traslación de velocidad constante. Cuando la velocidad de rotación sobrepasa la velocidad de traslación, la luz es roja, y, en caso contrario, es violeta. Pero esos colores sólo nacen en el ojo como efecto de esas velocidades.

Gracias a su conocimiento de la ley de refracción, calculó geométricamente con exactitud el recorrido de los rayos y los ángulos de 42º y de 52º del arco. Los puntos en que no le fué posible dilucidar por no conocer suficien-

(1) ARISTOTELES hizo interesantes observaciones sobre el arco iris. Sabía que cuanto más alto se encuentra el sol, más alto se encuentra el arco y lo atribuía al paso de la luz por las gotas de agua.

(2) SENECA dió explicaciones completamente erróneas y llegó a comparar las nubes con espejos cóncavos que reproducen una imagen agrandada del sol.

(3) VITELLO llegó algo más cerca de la solución del problema, pues hizo intervenir no sólo la reflexión en su explicación sino también la refracción de la luz en las gotas de agua.

(4) R. BACON, en el siglo XIII, dió la primera explicación científica del arco por refracción de la luz en gotas de agua y observó su altura, pero atribuyó sus colores a sensaciones subjetivas.

(5) TEODORICO, monje alemán, escribió en los primeros años del siglo XIV una obra de óptica en la que se encuentra la primera explicación casi exacta de los dos arcos iris y lo único que falta a esta teoría para igualarse a la que DESCARTES estableció, es el conocimiento de la ley de refracción. La obra de TEODORICO sólo fué reconocida en 1814.

(6) MOROLICO, (1575), dió una explicación parecida a la de TEODORICO y comparó el arco a los colores del prisma.

(7) FLETCHER, profesor en Breslau, nació en 1530 y murió en 1580. Explicaba que el arco iris es formado por la refracción de la luz solar en las gotas, pero creía que el rayo refractado llega después de ser reflejado "en otra gota".

(8) MARCO ANTONIO DOMINIS, matemático y teólogo dálmato, nació en 1566 y murió en Roma en 1624. Fué jesuíta y llegó a ser arzobispo de Spalato (Dalmacia) pero, por haber criticado la decisión de la Iglesia de interdecir a la República de Venecia, huyó a Inglaterra para salvarse de las persecuciones de la Inquisición. Desde allí sus ataques contra Roma redoblaron. Volvió, sin embargo, a Italia donde abjuró sus obras anteriores; pero fué arrestado por Urbano VIII,

temente bien el fenómeno de la dispersión de la luz fueron tratados con más acierto por NEWTON.

Después de este breve resumen de la obra científica del célebre filósofo francés, debemos llamar la atención en la tan conocida expresión de "revolución cartesiana" que parece contradecir la firme creencia que se debe tener en la evolución pausada y segura de la ciencia. Esta contradicción no existe; la obra genial de Descartes ha hecho dar un verdadero salto a esta evolución, pero no marca ni un retroceso, ni un cambio de rumbo, ni puede ser considerada como aislada y sin precedentes. Como prueba de esto, basta recordar que muchos sabios habían sido sus precursores en la reforma del método científico como en cada uno de sus descubrimientos. Citemos como ejemplos: su descubrimiento de la ley de la refracción ya hecho por SNELLIUS; su empleo de los indivisibles antes que CAVALIERI, pero después de KEPLERO; su principio según el cual una misma fuerza produce siempre un mismo trabajo cualquiera sea la velocidad que imprime al cuerpo, ya indicado por STEVIN; su teoría del arco iris, lentamente encaminada hacia este resultado por sus predecesores desde la antigüedad, y en fin, sus mismos y numerosos errores que no son sino los errores de su tiempo.

DESCARTES ha tenido una influencia verdaderamente enorme sobre ese tiempo, influencia que se ha reflejado sobre todo el siglo XVIII, conjuntamente, o más bien en oposición con la de NEWTON. Los sabios se dividieron en "newtonianos" y "cartesianos" y a la idea científica que los separaba se mezclaba sin duda cierto patriotismo.

---

encarcelado, y murió en la prisión, probablemente envenenado. Su cadáver fué entregado a las llamas así como sus obras por el Tribunal Supremo. En 1611, publicó una obra de óptica titulada "De los rayos visuales y luminosos", a la cual NEWTON atribuía mucho valor y que contenía una explicación del arco iris parecida y quizás plagiada de la de TEODORICO. En ésta como en aquélla, falta una comprensión clara de la marcha de los rayos por ignorarse la ley de refracción. Influenciado además por ARISTOTELES, Dominis, igual que KEPLERO, atribuyó los colores del arco iris a diferencias de transparencia del medio y, como consecuencia, a diferencias en el camino recorrido por los rayos luminosos.

Pero entre los que se titulaban cartesianos debe hacerse también una distinción. Los verdaderos cartesianos eran los que defendían el método científico de Descartes, pero reconociendo y rechazando sus errores. Al lado de éstos, había cartesianos "à outrance", los que lo consideraban como El Maestro y lo admiraban tanto en sus grandes ideas como en sus graves errores. El siglo XX parece dar cierta razón a los cartesianos moderados, pues parece que la ciencia se ha vuelto deductiva y, hasta cierto punto, especulativa ya que los grandes sabios se dejan muchas veces guiar sólo por su razón y por deducciones matemáticas hacia conclusiones que se encuentran fuera del dominio de la experiencia. Como ejemplo de ello basta citar la teoría de la relatividad de EINSTEIN.

ROBERVAL
(1602-1675)

Su balanza.

GIL PERSONIER, llamado ROBERVAL por el lugar de su nacimiento, una pequeña aldea cerca de Beauvais, nació en 1602 y murió en París en 1675.

Fué profesor de matemáticas en el Colegio Real y miembro de la Academia de Ciencias de París, de la que fué uno de los fundadores.

Matemático de gran valer, el papel que desempeñó en el movimiento científico de su país, ha sufrido la influencia de su mal carácter y de su orgullo. En 1636, resolvió el problema de la cuadratura de la parábola propuesto por FERMAT. Imaginó un método de construcción de tangentes y realizó un estudio de la oscilación de los péndulos compuestos, que provocaron una discusión con DESCARTES, a quien no dejó en paz hasta su muerte, fastidiándolo continuamente con ataques generalmente injustos. Escribió un "Método de los Indivisibles", después que CAVALIE-

RI (1) hubo tratado esta cuestión en su "Geometría de los Indivisibles", pero no quiso reconocerle sus derechos y provocó así nuevas discusiones. TORRICELLI no escapó tampoco a la irascibilidad del famoso matemático, que le discutió sus derechos a la demostración de la cuadratura de la cicloide.

PASCAL, que era íntimo amigo de Roberval, quien lo había sido a su vez de su padre, tuvo la debilidad de aprobar sus actos más injustos, y de llevar la parcialidad hasta el punto de no comunicar nunca a DESCARTES los resultados de sus experimentos sobre la presión atmosférica, aunque éste fué probablemente quien se los había inspirado, como lo hemos dicho anteriormente.

En física, Roberval debe ser recordado por haber imaginado, en 1670, la balanza que lleva su nombre y que se encuentra todavía en todos los gabinetes de física, y por su estudio del péndulo compuesto al que nos referimos más arriba y que fué propuesto a los sabios por MERSENNE, en 1646.

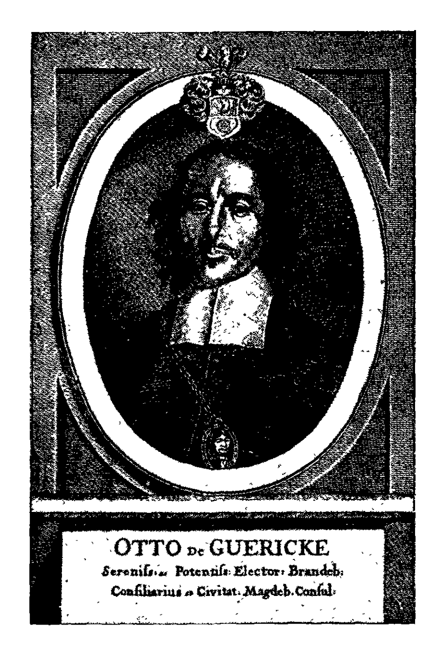
GUERICKE
(1602-1681)

Máquina neumática. Experimentos en el vacío. Hemisferios de Magdeburgo. Baroscopio. Manómetro. Barómetro de sifón. Máquina electrostática. Observación de fenómenos eléctricos.

OTTO DE GUERICKE, físico alemán, nació en 1602 en Magdeburgo (Sajonia), ciudad de la que fué burgomaestre de 1646 a 1681, fecha en que se trasladó a Hamburgo, donde murió en 1686.

(1) BUENAVENTURA CAVALIERI, matemático italiano, (Milano 1598-1647). Fué discípulo de GALILEO y profesor de matemáticas en Bolonia. En física determinó la distancia focal de las lentes convexas y cóncavas siendo el primero en aplicar la ley de refracción de SNELL y DESCARTES.

Hijo de un magistrado que se preocupó mucho de su educación, frecuentó las Universidades de Leipzig, Helmstadt, Jena y Leyden donde estudió el derecho, la mecánica y las matemáticas, y viajó por Francia, Inglaterra y Alemania. Vuelto a su ciudad natal presenció su toma y saqueo por las tropas alemanas mandadas por Tserclaes Tilly (1631) y fué hecho prisionero, pero pudo rescatarse por una importante suma. Entró entonces en el ejército sueco y, después de pocos años, volvió a Magdeburgo, donde fué elegido burgomaestre por sus conciudadanos.



OTTO DE GUERICKE

Guericke hizo descubrimientos e inventos que perpetúan su nombre en la física como el de un sabio inteligente y laborioso, cuya obra ha sido de gran utilidad.

Interesado por la ya tan antigua discusión del vacío y del peso del aire, intentó construir una máquina para hacer el vacío. El primer dispositivo que adoptó, hacia 1632,

fué un simple tonel lleno de agua en cuya parte inferior había introducido una bomba, creyendo que bastaría retirar el agua para obtener el vacío. Su experimento fracasó, pues el aire se introducía por las rendijas y los poros de la madera a medida que se sacaba el agua. Rodeó entonces el tonel con agua pero no tuvo más éxito, pues el agua que se sacaba con gran dificultad por medio de la bomba, era reemplazada inmediatamente por el agua exterior. Después de estos dos fracasos, cambió completamente su dispositivo; puso una bomba en comunicación con un globo hueco de cobre, provisto de una canilla para impedir la vuelta del aire al bajar el émbolo de la bomba. Pero insistió en introducir la bomba en la parte inferior del globo, convencido de que el aire caía por su propio peso, como lo hacía el agua en el aparato que empleaba anteriormente. Esta vez, pudo comprobar que el vacío se había realizado en parte, pues al abrir la canilla del globo, oyó un fuerte silbido causado por la entrada violenta del aire.

El principio de la máquina neumática estaba inventado y, en 1650, construyó un aparato que perfeccionó en 1663, del modo siguiente: Colocó la bomba verticalmente arriba del globo, pues ya había descubierto por varios interesantes experimentos que el aire aunque rarificado llena completamente el recipiente por su elasticidad. En vez de sumergir toda la bomba en agua como lo hacía anteriormente para impedir entradas de aire, colocó simplemente un vaso con agua alrededor del orificio en que introducía la bomba en el globo. Aplicó en fin, una palanca al brazo del émbolo para no necesitar, como en el modelo anterior, la fuerza de tres hombres para poder moverlo.

Tan pronto como pudo rarificar el aire, realizó una infinidad de experimentos que maravillaron a todos. Uno de ellos sobre todo es célebre: Guericke, que por su posición tenía relaciones con altos personajes del Imperio, fué invitado por Fernando III a mostrarle los efectos de su maravillosa máquina. En 1554, en Ratisbona, delante del emperador y de los príncipes reunidos, hizo el vacío en un globo de metal de unos 48 cm. de diámetro formado por

dos hemisferios simplemente yuxtapuestos, y enganchó en cada uno de ellos ocho fuertes caballos que no pudieron separarlos, sino después de largos esfuerzos. Este experimento se realiza frecuentemente con un globo más pequeño, en los gabinetes de física y conserva el nombre de Hemisferios de Magdeburgo.

Guericke empleaba como verdadero manómetro, aparato éste cuyo verdadero invento pertenece a BOYLE, un tubo de barómetro con mercurio y también el "baroscopio", y observó que debía hacer rectificaciones de acuerdo con las modificaciones de la presión atmosférica.

Debe recordarse, al respecto, que, independientemente de TORRICELLI, Guericke había construído un barómetro de agua en forma de sifón, cuya rama larga se encontraba en el interior de su casa y en la rama corta, colocada en el frente de la casa, había puesto en el agua un flotador en comunicación con un muñequito que, al subir y bajar de acuerdo con los cambios de presión, indicaba en una regla inscripciones de previsión del tiempo, con gran asombro del público que se congregaba frente a la casa del sabio burgomaestre. Guericke fué pues en esto precursor de HOOKE en el invento del barómetro de cuadrante.

Guericke adoptó además un dispositivo parecido con un termoscopio que no ofrece mayor interés por ser idéntico en principio al termoscopio de DREBBEL que le era conocido, pero en el cual, como en el barómetro, un muñequito indicaba en una regla las inscripciones siguientes: "muy caluroso — aire caliente — aire tibio — aire templado — aire fresco — aire frío — muy frío".

Guericke realizó numerosas experiencias en el vacío y demostró experimentalmente, por vez primera, lo que los antiguos ya habían adivinado, que el aire es el medio propagador del sonido y que éste no se propaga en el vacío. Atribuyó en fin el funcionamiento de la máquina neumática a la elasticidad del aire y extendió esta propiedad a todos los gases.

Guericke imaginó la primera máquina electrostática. Consistía en un globo de azufre o de ámbar que frotaba

cubriéndolo con una mano mientras lo hacía girar rápidamente con la otra. Con esta máquina rudimentaria, percibió el ruido y el fulgor de la chispa, que no pudo distinguir claramente, pero que comparó al rayo, y descubrió el fenómeno de la repulsión eléctrica, ignorado por los antiguos y aun por GILBERT. Observó la pérdida por las puntas y la descarga por la llama. Hizo en fin toda una serie de experiencias y de observaciones con las cuales precedió a la ACADEMIA DEL CIMENTO en su estudio de la descarga por la llama (1667), a WALL en su estudio de la formación de las chispas (1708), a DU FAY en el descubrimiento de la influencia eléctrica (1723), a GRAY en la observación de la electrización por trasmisión (1729), y a BOSE (1738), JALLABERT (1747) y FRANKLIN (1750) en el estudio del poder de las puntas. HOPPE en su "Histoire de la Physique" defiende los derechos de su compatriota Guericke y considera que no se ha dado suficiente importancia a su obra, que merece ser destacada además por tratarse de una obra cuya seriedad científica contrasta con las vaguedades e inexactitudes que aun formaban el elemento fundamental de los trabajos de sus contemporáneos.

HOPPE también establece con claridad que si bien la obra de Guericke "Experimenta Nova de Vacuo Spatio" no fué publicada sino en 1672 debido a demoras imprevistas y estando ya impresa en 1663, sus experiencias fueron muy anteriores y fueron conocidas públicamente y mencionadas en la obra de su amigo GASPAR SCHOTT (1608-1666), autor de una "Mecánica Hidráulica-Neumática" (1657) y de una "Física Curiosa" (1662).

ACADEMIA DEL CIMENTO
(1657-1667)

Academias científicas anteriores. Trabajos de la Academia del Cimento.

La primera academia que recuerda la historia como verdadera sociedad científica, fué el Museo de Alejandría.



LA ACADEMIA DEL CIMENTO
(Fresco en el Museo de Física y Ciencias Naturales de Florencia)

En Europa, semejantes sociedades aparecieron, en Italia, desde el siglo XIV, pero la "Academia de los Secretos de la Naturaleza" que PORTA fundó en Nápoles en 1560, fué la primera que se ocupó exclusivamente de investigaciones científicas. Después de ésta, se fundaron: la Academia Telesiana, que debe su nombre a TELESIO (1509-1588), el célebre filósofo italiano, que atacó valientemente, aunque con cierta exageración, las teorías de ARISTOTELES; en 1603, la "La Academia de los Linces", fundada por el príncipe CESI, que se ocupaba sobre todo de historia natural; la Academia de la "Crusca", creada por el poeta GRAZZINI, en 1582, que tenía el propósito de purificar el idioma italiano "como se purifica la harina separándola de la "crusca" ("afrecho"), pero que se ocupó también de cuestiones científicas; y en fin, la Academia del Cimento (del experimento).

Esa sociedad debió su origen probablemente a las reuniones de sabios que los príncipes de Médicis gustaban tener en su corte, y algunos historiadores hacen remontar la

iniciativa de su formación a Cosme de Médicis; pero fué du ante el reinado de Fernando II que se celebró, en 1657, en el palacio de su hermano Leopoldo de Médicis, la fundación de esta sociedad en que se siguió al pie de la letra el método de GALILEO, no buscándose más que en el experimento el medio de llegar a la verdad científica. Su próspera vida no fué sin embargo de mucha duración, pues, en 1667, Roma que se opuso siempre a tales organizaciones científicas por temor de no poder dominarlas tan fácilmente como a los sabios aislados, llegó a hacerla cerrar por su propio fundaor, Leopoldo de Médicis, brindándole en cambio la dignidad de Cardenal.

En 1667, año de su clausura, la Academia publicó un volumen titulado: "Ensayos de experiencias naturales hechas por la Academia del Cimento", en que se encuentran relatados todos los trabajos realizados por sus nueve miembros, sin citar a ninguno de ellos en particular, conforme a la regla de la sociedad. Esta obra se divide en trece capítulos:

I *Instrumentos de medida y su empleo.*
II *Investigaciones sobre la presión atmosférica.*
III *Experimentos sobre la congelación artificial del agua.*
IV *Experimentos sobre el hielo natural.*
V *Experimentos sobre la dilatación de los metales y otros cuerpos por el calor.*
VI *Experimentos sobre compresibilidad del agua.*
VII *Experimentos para probar la no existencia de una liviandad positiva.*
VIII *Experimentos sobre el imán.*
IX *Experimentos sobre el ámbar y otras substancias eléctricas.*
X *Experimentos sobre los cambios de color en los líquidos.*
XI *Experimentos sobre propagación del sonido.*
XII *Experimentos sobre el tiro.*
XIII *Otros experimentos.*

Se encuentra en ellos la descripción de un termómetro cuyos perfeccionamientos, que se atribuyen a Fernando de Médicis, consisten en la forma de espiral de tubo cerrado y graduado y el empleo del alcohol para poder alcanzar temperaturas bajas. La graduación del aparato no era muy práctica, pues sus puntos "fijos", que eran el frío mayor de invierno y el gran calor del verano, no estaban bien determinados.

Los académicos empleaban un verdadero higrómetro de condensación, cuyo invento se atribuye al mismo Fernando II. Era formado por un recipiente metálico que se llenaba de hielo fundente y se apreciaba el estado higrométrico de la atmósfera por la cantidad de agua condensada en la superficie, en un tiempo determinado. Este primer higrómetro de condensación determinó un gran progreso sobre el higroscopio de absorción de MERSENNE, que hemos estudiado antes, pero debe recordarse que PORTA había comentado ya la observación de que el vapor de agua del aire se condensa en un frasco de vidrio que contiene una mezcla refrigerente.

Los experimentos que realizó la Academia sobre la presión atmosférica son en parte la repetición de los que PASCAL había realizado en Francia, pero se hicieron con el empleo de barómetros de cubeta y de sifón.

En sus estudios del vacío, los florentinos no emplearon la bomba neumática, pues la máquina que poseían era muy imperfecta, y prefirieron siempre el vacío barométrico que realizaban en un tubo de extremidad ensanchada.

Determinaron la dilatación del agua al congelarse y mostraron su fuerza haciéndole romper los recipientes metálicos que la contenían. Para producir esta congelación fueron los primeros que usaron mezclas frigoríficas, como de sal y nieve, nieve y alcohol, nieve y salitre, nieve y cloruro de amonio (sal amoníaco).

Hicieron una de las primeras observaciones sobre el calor radiante, reflejando el frío de un pedazo de hielo por medio de un espejo cóncavo sobre un termómetro, que in-

dicaba inmediatamente una disminución de temperatura. PORTA parece haberles precedido en esta observación, pues dijo que: "Es curioso observar que el frío se refleja en un espejo, igual que el calor".

Sobre la compresibilidad del agua, todos los esfuerzos de los académicos fueron inútiles; trataron en vano de comprimir agua encerrándola en globos metálicos que luego martillaban, pues el líquido se escapaba siempre por los poros del metal.

No tuvieron más éxito en su medida de la velocidad de la luz, que trataron de realizar siguiendo indicaciones dadas por GALILEO. Colocaron dos antorchas a una gran distancia una de otra y las ocultaron por medio de pantallas, luego un observador sacó la pantalla de una de las luces, y otro descubrió la otra luz tan pronto como recibió la impresión de la primera. El tiempo que transcurría entre el momento en que el primer observador descubría la luz y el momento en que veía la otra antorcha descubierta, era el necesario para que la luz recorriera una distancia doble de la que separaba los observadores. Este método, teóricamente exacto, no es practicable, pues la velocidad de propagación de la luz es tal que, cualquiera sea la distancia entre los operadores, siempre la recorre en un tiempo inapreciable.

Estos experimentos dan una idea bastante clara del valor de los conocimientos de la época y de las cuestiones que más interesaban a los investigadores. Vemos por ellos los resultados del método experimental de GALILEO, que si bien no pretende crear de súbito, como el método cartesiano, grandes teorías generalizadoras, hace descubrir gran cantidad de efectos y leyes. Más de dos mil años habían transcurrido desde TALES DE MILETO hasta este triunfo del método experimental y poco más de dos siglos nos separan de esta misma época. Interesante es comparar los enormes progresos realizados por la ciencia en estos 250 años, con su lenta marcha de los dos mil años anteriores.

Los nueve miembros de la Academia del Cimento fueron en su orden cronológico: ALEJANDRO MARSILI

(1), JUAN ALFONSO BORELLI, ANTONIO OLIVA (2), CARLOS RENALDINI (3), CANDIDO BUONO (4), VICENTE VIVIANI, PABLO BUONO, FRANCISCO REDI (5), y LORENZO MAGALOTTI (6) y entre los corresponsales se destacaron FABRY, RICCI (7), THEVENOT (8), CASSINI, STENON (9), y MONTANARI.

Estudiaremos separadamente, y en el lugar que les corresponda por la época de su actuación, a los que, fuera de la Academia, tuvieron influencia personal sobre el desarrollo de la física.

---

(1) ALEJANDRO MARSILI (1601-1670). Probablemente fué el socio menos importante de la Academia.

(2) ANTONIO OLIVA (?-1668). Hombre de gran valer. Se suicidó en 1668 para salvarse de la tortura a que iba a someterlo la Inquisición.

(3) CARLOS RENALDINI (1615-1698). Matemático y filósofo de valer. Fué probablemente el primero que determinara los puntos fijos de los termómetros con la temperatura del hielo fundente y sobre todo del agua hirviendo, en 1694. Después de la disolución de la Academia, fué profesor en Padua.

(4) CANDIDO BUONO (1618-1676). Hermano de PABLO y discípulo de GALILEO como él. Hizo numerosos inventos de mecánica y de física y se ocupó de astronomía.

(5) FRANCISCO REDI (1625-1694). Naturalista. Fué primer médico de Fernando II. Perteneció también a la Academia de la Crusca. Publicó muchas obras de zoología y fisiología y hasta de poesía.

(6) LORENZO MAGALOTTI (1637-1712). VIVIANI lo recomendó a Leopoldo de Médicis, que lo nombró su secretario y lo hizo entrar en la Academia. Era ante todo un literato y se encargó de la redacción de las Memorias de la Sociedad.

(7) RICCI (1619-1682). Cardenal, amigo y consejero de muchos sabios de la época. Es a RICCI que TORRICELLI hizo conocer primero su célebre experimento.

(8) THEVENOT (1620-1629). Viajero francés, no ha producido nada en la Física. Fué miembro fundador de la Academia de Ciencias

(9) STENON (1631-1686). Anatomista y fisiólogo, se convirtió al catolicismo y llegó a ser vicario apostólico. Se ocupó de geología y enunció principios fundamentales de esta ciencia.

BORELLI
(1608-1679)

Capilaridad. Velocidad del sonido. Choques. Perfeccionamiento del barómetro.

JUAN ALFONSO BORELLI, médico y físico italiano, nació en Nápoles en 1608 y murió en Roma en 1679.

Hijo de un simple soldado, demostró tener grandes aptitudes para las ciencias exactas, que estudió en Roma con el célebre padre CASTELLI (1). Después de recibir en esta ciudad su título de Doctor en medicina, enseñó en Mesina, en Pisa y en Florencia, donde los príncipes de Médicis lo conocieron y lo incluyeron en la lista de los fundadores de la Academia del Cimento, de la que fué uno de los socios más activos. En 1667, cuando esa sociedad fué tan injustamente disuelta, BORELLI volvió a Mesina, que tuvo que abandonar siete años más tarde por haber tomado parte en una insurrección política, retirándose a Roma donde conoció a la reina Cristina de Suecia, que lo ayudó materialmente. Fué en Roma que BORELLI pasó los cinco últimos años de su vida, enseñando matemáticas en un convento.

Fuera de la Academia del Cimento, BORELLI ha publicado importantes obras de física, matemáticas, astronomía y filosofía.

En astronomía, fué uno de los precursores de la teoría de la atracción universal establecida por NEWTON, pues expuso que el movimiento de los astros es causado por una atracción recíproca, que disminuye en intensidad cuando aumenta la distancia, pero no logró establecer las relaciones matemáticas imprescindibles. A Borelli se debe también el invento del helióstato. En medicina, supo aplicar sus

---

(1) BENITO CASTELLI, padre benedicto, matemático y físico italiano, nació en Brescia en 1577 y, en 1644, murió en Roma, donde Urbano VIII lo había llamado para enseñar matemáticas. Fué uno de los discípulos más aventajados de GALILEO y su nombre queda unido a la historia de la hidráulica, pues ha sido el primero que estableciera leyes exactas sobre el movimiento de los ríos, que comparaba al movimiento vertical de los cuerpos cadentes.

conocimientos de mecánica, y la teoría de las palancas le sirvió para explicar los movimientos musculares.

En física, estudió por primera vez los fenómenos capilares, que habían sido observados por PLATON y por LEONARDO DE VINCI, y demostró que la ascensión capilar es más rápida en tubos húmedos que secos, que la capilaridad no tiene por causa la presión atmosférica, que la altura de la columna líquida en un tubo capilar, mojado o seco, es inversamente proporcional al diámetro del tubo (1) y realizó en fin todos aquellos experimentos clásicos, como hacer flotar pequeñas hojas metálicas o agujas en la superficie del agua u observar la atracción y repulsión de cuerpos flotantes, según que sean o no mojados por el líquido; pero no pudo explicar la causa de la capilaridad. Ya hemos dicho que, en algunas de esas observaciones había sido precedido, por pocos años, por ISAAC VOSS.

Hizo con VIVIANI varias medidas de la velocidad de propagación del sonido, empleando el método que GASSENDI y MERSENNE habían seguido y que consiste en medir la diferencia del tiempo entre la percepción óptica del fulgor de un tiro de fusil y la percepción acústica de su estampido. Obtuvo así resultados mucho más aproximados que los obtenidos por estos físicos franceses (1111 pies de París) pero negó la influencia del viento.

Precedió de un año a WREN, HUYGHENS y WALLIS en su estudio del choque de los cuerpos, pero se limitó a casos particulares sin llegar como éstos a enunciar la ley general.

Perfeccionó en fin, considerablemente la construcción del barómetro, que no usó como aparato productor de vacío, como se hacía generalmente en esa época, sino para realizar interesantes observaciones meteorológicas.

---

(1) Esta ley que lleva erróneamente el nombre de "LEY JURIN" no fué enunciada de nuevo sino en 1718 por el médico inglés TOMAS JURIN.

TORRICELLI
(1608-1647)

Trayectoria de los proyectiles. Hidrodinámica: Teorema de Torricelli. El barómetro. La presión atmosférica. Areómetro de volumen constante.

EVANGELISTA TORRICELLI, que nació en Faenza en 1608 y murió en Florencia en 1647, y su amigo VIVIANI (1), fueron los discípulos preferidos de GALILEO, y fué Torricelli quien supo aliviar los últimos y amargos meses de vida del maestro, con toda la dulzura de su carácter bondadoso y el respetuoso amor que le profesaba.

Hizo sus primeros estudios en el colegio de jesuítas de Faenza y fué dirigido por su tío JACOBO TORRICELLI, religioso de Camaldulense, que lo envió a Roma y lo recomendó a CASTELLI para que éste le enseñara las matemáticas.

Hacia 1638, inspirado por los "Diálogos de Galileo sobre dos ciencias nuevas", Torricelli escribió un tratado del

(1) VICENTE VIVIANI, sabio físico, matemático y astrónomo italiano, discípulo de GALILEO, nació en Florencia en 1622 y murió en la misma ciudad en 1703. Fué pensionado por Luis XIV, pero rehusó su invitación para vivir en su corte y permaneció en la de Fernando II como matemático y sucesor de GALILEO y de TORRICELLI. Fué nombrado socio de las tres principales academias de esa época: la Academia del Cimento, la Sociedad Real de Londres y la Academia de Ciencias de París.

Desde muy joven, se había sentido atraído por el estudio de las ciencias y llegó a ser recibido como discípulo por GALILEO, por quien experimentaba una verdadera veneración. Cuando murió el gran sabio pisano, Viviani hizo construir de su propio peculio una casa en la que reunió todos los recuerdos dejados por su maestro, escribió su biografía y quiso que sus propios restos descansaran cerca de los de GALILEO. En 1735 las cenizas de estos dos grandes hombres que la ciencia había reunido, fueron encerradas en una misma urna. En física, deben recordarse: las medidas de velocidad del sonido, que realizó en colaboración con BORELLI y que fueron reunidas a los trabajos de la Academia del Cimento; una demostración de la dilatación lineal de los sólidos, que consistía en mostrar el cambio de longitud del péndulo por el calor; un higrómetro; un areómetro de peso constante y la construcción del barómetro, que hizo bajo las instrucciones de su amigo, condiscípulo y maestro TORRICELLI.

movimiento, que publicó sólo en 1644, con el título de "Obra geométrica", y que contiene la proposición según la cual:

" Las parábolas descritas por proyectiles arroja-
" dos con la misma velocidad en todas las direcciones,
" tienen por envoltura un mismo paraboloïde fuera del
" cual ningún proyectil puede pasar".

Contiene otras proposiciones que confirman los descubrimientos de GALILEO y especialmente que el proyectil describe una parábola, no tomándose en cuenta la resistencia del aire, y que la mayor amplitud de trayectoria se obtiene con una inclinación de 45º Esta obra contiene, además, una teoría de los choques de acuerdo también con las ideas emitidas por el sabio pisano.



TORRICELLI

En 1641, el padre CASTELLI, visitando a GALILEO en Florencia, le mostró el manuscrito de su discípulo y el sabio se interesó tanto por el trabajo del joven físico, que lo invitó a instalarse en su propia casa. Torricelli pasó en la intimidad del anciano los últimos cuatro meses de la vida

de éste y pudo ayudarlo a terminar su última obra el "Quinto diálogo de Galileo".

Muerto el maestro, Torricelli se aprontaba a volver a Roma cuando el Duque de Toscana, Fernando II, le ofreció la cátedra de matemáticas que pertenecía a GALILEO y el título de matemático y filósofo de la corte, para que permaneciera en Florencia. Es en esta ciudad que, a la edad de 39 años, respetado por su erudición y talento, estimado y apreciado por su generosidad y su modestia, una corta enfermedad le arrebató la vida, cuando se esperaba aún de él una obra inmensa.

Los trabajos de Torricelli abarcan las matemáticas y la física.

En matemáticas, hemos dicho ya que resolvió el problema del área de la cicloïde y que su hermoso estudio de esta curva le provocó una larga discusión con el irascible ROBERVAL.

En óptica, su trabajo principal ha sido el perfeccionamiento de los anteojos, que llegó a construir mejor aún que GALILEO.

En hidráulica, provocó un enorme progreso con su estudio del movimiento de los líquidos que le fué inspirado indudablemente por su maestro CASTELLI. Como lo hiciera CASTELLI, Torricelli se fundó en las leyes de caída de los cuerpos de GALILEO y estableció así que: El agua, que sale por un orificio lateral de un recipiente, obedece a las leyes de movimiento de los proyectiles; traza una parábola cuya amplitud de radio llega a un máximum cuando el orificio se encuentra en el medio de la distancia que separa el suelo del nivel del líquido; y disminuye de igual modo si se aleja hacia arriba o abajo de esta posición. Estableció luego, la proposición conocida por: "Teorema de Torricelli" y según la cual:

" La velocidad de salida de un líquido, por un ori-
" ficio practicado en una pared delgada, es la misma
" que adquiriría cualquier grave cayendo de una al-

" tura igual a la distancia que media del centro del " orificio a la superficie del nivel".

Torricelli emitió en fin la idea de que el derrame del aire está sujeto a las mismas leyes que el derrame de los líquidos adelantándose así al estudio de la difusión de los gases.

A pesar de que estos trabajos sobre el movimiento de los proyectiles y de los líquidos son los que necesitaron más esfuerzos y son los más originales, pues con ellos indicó una ruta científica nueva, su invento del barómetro, ya vislumbrado por otros sabios, le dió mucho más gloria. Se comete frecuentemente un error en la evaluación del mérito de los hombres no otorgando la gloria según la grandeza del esfuerzo, sino según el resultado práctico alcanzado. Es así que al invento del telescopio, del microscopio, del termómetro, del barómetro, del teléfono, del telégrafo y de tantos otros instrumentos de utilidad práctica y científica a la vez, se atribuye más valor que a los profundos estudios y maravillosos descubrimientos sin los cuales su construcción hubiera sido imposible. Es así que nombres como los de FRANKLIN, MORSE, GRAHAM BELL, EDISON, MARCONI, son conocidos por los más profanos a la ciencia, que ignoran en cambio los de OERSTEDT, AMPERE, ARAGO, MELLONI, MAYER, GAUSS, LENZ, JOULE, KIRCHHOFF, HELMHOLTZ, MAXWELL, ZEEMAN o HERTZ mismo. Es por idéntica razón que el nombre de Torricelli evoca inmediatamente el descubrimiento del barómetro, ignorándose a veces sus trabajos de matemáticas, mecánica e hidráulica, que son los que demuestran el verdadero valer de la obra inmensa que el sabio italiano recién iniciaba cuando la muerte lo sorprendió.

La historia del invento del barómetro es demasiado conocida para que hagamos más que recordarla en sus grandes rasgos. Fontaneros de Florencia habían observado que una bomba aspirante no funciona para una altura de líquido de más de treinta y dos pies y preguntaron la causa de este fenómeno a GALILEO, quien les explicó que el agua se eleva, pues, sino, se produciría en el tubo un vacío

al cual la naturaleza se opone, "pero", agregó con cierta ironía hacia su propia ignorancia, "parece que su resistencia al vacío no alcanza más que 32 pies". GALILEO sabía que el aire tiene peso, pero no llegó sin embargo a sospechar que los 32 pies de agua equilibran el peso ejercido sobre la superficie del líquido por el aire de la atmósfera. Esta idea le ocurrió a Torricelli, quien pensó que como allí había un simple equilibrio de pesos iguales se podía reemplazar los 32 pies de agua por un peso igual de cualquier otro líquido y que el mercurio sería el más práctico para realizar experimentos por ser el más denso. Confió estas ideas a VIVIANI, que, en 1643, realizó el experimento conocido con toda justicia como "Experimento de Torricelli".

Por más que hemos visto que algunos filósofos antiguos y STEVIN, KEPLERO, VAN HELMONT, REY (1), GALILEO, GUERICKE y otros sabían que el aire tiene peso y que DESCARTES tenía un concepto exacto de la presión atmosférica y estuvo bien cerca del invento del barómetro, Torricelli fué quien demostró la existencia de esta presión y aplicó el barómetro a la medida de sus variaciones y a la producción del vacío.

En 1644, Torricelli comunicó sus experimentos a su amigo RICCI que los hizo conocer a MERSENNE con quien estaba en correspondencia, y fué éste quien, por intermedio de PETIT los comunicó a PASCAL que confirmó definitivamente la existencia de la presión atmosférica y supo defenderla contra los violentos ataques de los peripatéticos.

---

(1) JUAN REY, farmacéutico francés nacido a fines del siglo XVI y muerto en 1645, se ocupó mucho de medicina, física y química y estaba en correspondencia con el Padre MERSENNE.

Publicó, en 1630, sus "Ensayos", que contienen interesantes experimentos para probar la pesantez del aire, basándose en ella para explicar en química que el estaño y el plomo aumentan de peso cuando se calcinan "porque el aire les cede sus moléculas pesantes"

("Les Essays de JEAN REY" por Hallopeau y Poisson. — Rev. Scient. 1890. p. 332).

Torricelli inventó también un aparato que puede ser considerado como el primer areómetro de volumen constante, precursor de los que FAHRENHEIT y NICHOLSON inventaron más de un siglo más tarde.

WALLIS
(1616-1703)

Teoría de los choques.

JUAN WALLIS, nacido en 1616 en Ashford (condado de Kent) y muerto en 1703 en Londres, fué uno de los fundadores de la Sociedad Real de Londres y uno de los más grandes matemáticos de su época. Se hizo pastor protestante en Cambridge y luego enseño la geometria en la Universidad de Oxford.

En 1668, la Sociedad Real de Londres llamó a concurso a los hombres de ciencia para establecer una teoría de los choques (1). Hemos visto que algunos sabios ya se habían preocupado de este interesante estudio sin llegar sin embargo, a establecer una teoría definitiva. Recordaremos entre éstos: a BALIANI (1638) que escribió dos volúmenes sobre este tema; a GALILEO (1638) que hizo observar que la fuerza de percusión no puede ser comparada a la presión, como se hacía generalmente, por ser infinitamente mayor, y que se ocupó probablemente más extensamente de estos fenómenos en una obra que se supone perdida; a TORRICELLI que llegó a la misma conclusión que su maestro; a MARCI DE KRONLAND (1638), que hizo interesantes observaciones, pero las relató con poca claridad; a DESCARTES (1644), que fué el primero en darse cuenta de la necesidad de descubrir las leyes del choque, pero que cometió graves errores con su tentativa demasiado teórica; en fin, a BORELLI (1666), que estudió en su obra "De las fuerzas de percusión" el choque central de dos

(1) Véase la historia de las leyes del choque en "La Mécanique" de MACH. — Pág. 296-312.

esferas elásticas y no elásticas cuando una es inmóvil, cuando se mueven en sentidos opuestos y cuando se mueven con distintas velocidades en el mismo sentido, realizando así un interesante estudio de estos casos particulares sin lograr sin embargo, llegar a la ley general.

Al llamado a concurso de la sociedad científica inglesa, tres sabios, WALLIS (26 de Noviembre de 1668), WREN (17 de Diciembre de 1668) y HUYGHENS (4 de Enero de 1669), respondieron casi simultáneamente y los tres dieron soluciones que llegaban a la misma conclusión: el principio de la conservación de la cantidad de movimiento en todos los casos.

WALLIS estudió el caso del choque central de cuerpos no elásticos y estableció la fórmula que encontramos todavía en todos los textos de física:

$$u = \frac{m\ v + m'\ v'}{m + m'}$$

en que u es la velocidad común de los dos cuerpos después del choque, m y m' sus masas y v y v' sus velocidades respectivas, y en la cual se toma el signo — cuando los cuerpos se mueven en sentido contrario. Vemos fácilmente que esta fórmula deriva directamente del principio de la conservación de la cantidad de movimiento, que DESCARTES había establecido, pues puede expresarse:

$$m\ v + m'\ v' = u\ (m + m')$$

Veremos, al hablar de WREN y de HUYGHENS, que éstos han estudiado el choque de cuerpos elásticos, estableciendo en este caso el principio de la conservación de la fuerza viva.

WALLIS, además de sus trabajos de matemáticas y de mecánica, ha producido obras de teología y moral y ha sido uno de los primeros en ocuparse de la educación de los sordomudos.

GRIMALDI
(1618-1663)

La difracción. Dispersión del prisma.

FRANCISCO MARIA GRIMALDI, físico y astrónomo italiano, nació en Bolonia en 1618 y murió en la misma ciudad en 1663.

Enseñó la retórica, la filosofía y la geometría en la Orden de Jesuítas, en que había ingresado en 1632.

Se ocupó principalmente de astronomía, participando en los trabajos de RICCIOLI (1) y observando muy cuidadosamente las manchas de la luna, a las que asignó nombres, que aún empleamos, y que eligió entre los de hombres ilustres.

Grimaldi debe su mayor gloria a sus descubrimientos de óptica, que fueron publicados en Bolonia sólo en 1665, dos años después de su muerte. Realizaba numerosos experimentos sobre la luz cuando la casualidad le hizo descubrir un fenómeno nuevo. Había arreglado un cuarto obscuro y, en un postigo, había practicado una pequeña abertura que dejaba penetrar un haz de luz; colocó un día un pelo delante del orificio y observó que la sombra que proyectaba en la pared opuesta era más ancha de lo que geométricamente se evaluaría, y estaba rodeada por franjas obscuras y claras. Repitió el experimento, imaginó otros entre los

(1) JUAN BAUTISTA RICCIOLI (Ferrara 1598-Bolonia 1670). Era jesuíta como GRIMALDI, y enseñó la filosofía y la teología en Parma y la astronomía en Bolonia. Publicó una obra de astronomía de una extensión y erudición enormes, pero que no aporta nada nuevo a esta ciencia. Fué encargado por sus superiores religiosos de atacar científicamente la teoría de COPERNICO, pero lo hizo sin entusiasmo. Realizó numerosos experimentos con GRIMALDI para comprobar la veracidad de las leyes de caída de los cuerpos de GALILEO; se convenció de su exactitud e hizo interesantes observaciones sobre la resistencia del aire, que en estas leyes no se toma en cuenta. Los resultados de esos experimentos no inspiran mucha confianza, pero es de observar que GRIMALDI y RICCIOLI fueron los primeros en buscar una demostración energética de dichas leyes midiendo la velocidad del cuerpo cadente por el peso que equilibra al chocar en el platillo de una balanza.

cuales se encuentra el que le permitió afirmar que "un cuerpo luminoso puede volverse obscuro, cuando se le agrega nueva luz a la que ya recibe" y que fué repetido con más provecho por YOUNG, FRESNEL y ARAGO. Llegó en fin, a la convicción de que los rayos luminosos cambian de dirección al rozar los objetos opacos dando a esta inflexión de la luz el nombre de "difracción" que le ha sido conservado. Cuatro propiedades de la propagación de la luz se habían pues descubierto ya: la propagación en línea recta, la reflexión, la refracción y la difracción.

Observó también Grimaldi la dispersión en el prisma y, sin explicarla satisfactoriamente, la atribuyó sin embargo a la distinta refrangibilidad de sus partes; pero no es considerado como su descubridor, pues le precedió MARCI DE KRONLAND en la observación del fenómeno, que NEWTON fué el primero en entender y explicar.

Reflexionó mucho también sobre la constitución íntima de la luz, pero no se decidió nunca a favor de una teoría fija y en la misma obra se encuentran argumentos que defienden su materialidad y otros que tienden a establecer una teoría de las ondulaciones en un "medio luminoso sutil". No puede ser considerado pues como precursor de HUYGHENS en el establecimiento de la teoría de las ondulaciones.

A pesar de la importante obra realizada por este gran experimentador, su influencia no ha sido tan grande como podría esperarse, y su gloria es casi reciente.

MARIOTTE (1)
1620-1684)

Ley de Boyle-Mariotte. Hipsometría. Dilatación del agua de 4º a 0º. Variaciones barométricas.

EDMUNDO MARIOTTE, nació en Borgoña, cerca de Dijón, en 1620 y murió en 1684.

Pocos detalles de su vida han llegado hasta nosotros y casi lo único que se sabe es que fué eclesiástico, encargado del Priorato de Saint-Martín-Sous-Beaune, y que se le nombró miembro de la Academia de Ciencias de París pocos meses después de la fundación de ésta (1666).

Fué el primero en Francia en comprender todo el valor del método experimental en física y en saberlo unir científicamente con las teorías admitidas.

Se acostumbra, en Francia y en los países de cultura francesa, llamar "Ley de Mariotte" a la ley de proporcionalidad entre la presión y el volumen de los gases. Se comete así un error, pues BOYLE, el gran experimentador inglés, había enunciado y demostrado esta ley en 1660 ó sea diez y seis años antes que Mariotte publicara su "Ensayo acerca de la naturaleza del aire" (2) que también la contiene; pero está probado que Mariotte no tenía conocimiento del descubrimiento de BOYLE, aunque algunos autores, como HOPPE, por ejemplo, encuentren inadmisible que Mariotte haya ignorado la obra de BOYLE.

Mariotte empleó esta ley para la medida de la altura por medio del barómetro; pero allí tampoco fué el primero y no es acreedor al título de fundador de la hipsometría, pues TORRICELLI tuvo anteriormente la misma idea y PASCAL había realizado ya su célebre experimento acerca de la presión atmosférica en las montañas de Puys de

(1) "Edmé Mariotte" por M. SOLOVINE (Revue Scientifique, 1921, pág. 708).

(2) Léase una muy buena selección de citaciones de las principales obras de Mariotte en "GAY, Lectures Scientifiques", págs. 143-168 y 175-181.

Dome. El método de Mariotte era nuevo y exacto en principio. Consistía en medir el descenso de la columna barométrica para una pequeña elevación y calcular, por medio de la ley de relación entre la presión y el volumen, la presión que ejerce cada capa atmosférica de por sí, o sea el descenso barométrico que debe observarse al pasarla. Pero le faltó a Mariotte una preparación matemática suficiente para sacar mayor provecho de sus conceptos y de sus determinaciones en este sentido.

En la misma obra que acabamos de citar, informó acerca de su descubrimiento de la presencia de aire disuelto en el agua y otros líquidos y atribuyó, como lo hizo HUYGHENS, la dilatación del agua de 4º a 0º a la mayor introducción de aire a esas temperaturas, explicación que fué demostrada ser inexacta cuando se observó que en el vacío el agua sigue las mismas irregularidades de dilatación que en el aire.

Mariotte se ocupó, además de éstas, de muchas otras cuestiones de física y también de lógica.

Demasiado conocido es el "aparato de Mariotte" para que insistamos sobre él, pues se emplea todavía en los gabinetes de física para el estudio de las leyes del choque y ayuda grandemente en hacerlas entender. Los importantes estudios que Mariotte realizara sobre la teoría de los choques, no ejercieron influencia por haber sido publicados recién en 1717, después de la muerte del sabio y después de ser conocidos los trabajos de WALLIS, WREN y HUYGHENS.

En 1666, publicó sus "Observaciones acerca del órgano de la visión", en que dió cuenta de su descubrimiento del punto ciego de la retina y demostraba su existencia por el conocido experimento que consiste en determinar dos puntos algo distantes el uno del otro, fijar el que se encuentra más a la izquierda con el ojo derecho manteniendo el izquierdo cerrado (o inversamente fijar el punto de la derecha con el ojo izquierdo) y acercarse o alejarse hasta que se observe la desaparición del otro punto o sea hasta que su imagen se forme en aquella parte ciega de la retina opuesta a

la pupila. Este experimento causó inmensa curiosidad en el mundo científico y fué reproducido, en 1668, en la Sociedad Real de Londres, en presencia del Rey Carlos II.

Hizo una interesante observación sobre el calor radiante al darse cuenta de que la luz y el calor solar no son detenidos por el vidrio, mientras que el calor de una estufa lo es considerablemente: prueba de que existen distintas especies de calor radiante, es decir, los rayos de calor claros y obscuros. Era este un progreso de valor en el estudio de la radiación calorífica.

El "frasco de Mariotte" es otro invento de este físico, que se encuentra en todos los gabinetes y cuya descripción figura en su "Tratado del movimiento de las aguas", que comprende además muchos interesantes experimentos de hidrodinámica, la comprobación de los descubrimientos de TORRICELLI y la primera observación del frotamiento de los líquidos en los tubos "aunque éstos sean de vidrio y perfectamente pulidos".

Mariotte fué el primero en dar una explicación razonable de las variaciones barométricas, que atribuía a condensaciones del aire por el viento, mientras otros imaginaban hipótesis fantásticas. Veamos como se expresaba Mariotte al respecto:

> " Los vientos Norte y Noreste hacen, generalmente,
> " subir el mercurio de los barómetros, no sólo porque
> " hacen el aire más pesado al condensarlo, pero tam-
> " bién porque, soplando de arriba abajo, comprimen el
> " aire y aumentan su resorte"...

Si se estudia detenidamente la obra de Mariotte se llega al convencimiento de que este monje fué una de las más hermosas figuras de sabio, por su erudición y por una honestidad científica poco común.

PASCAL
(1623-1662)

Demostración de la presión atmosférica. Principio de Pascal. La prensa hidráulica.

BLAS PASCAL, nació en Clermont en 1623 y murió en París en 1662 (1).

Su padre, ESTEBAN PASCAL, que era presidente en la corte de subsidios y hombre de mucho saber, sobre todo en matemáticas, notó muy pronto en su hijo cualidades de espíritu que le hicieron abrigar grandes esperanzas y lo resolvieron a encargarse personalmente de su educación.

Se esforzó en evitar al niño los ejercicios de pura memoria y en interesarlo en las cuestiones de razonamiento, pero eligiendo siempre estudios a su alcance aunque le parecieran demasiado fáciles, para hacerlo adelantar, sin cansancio y con placer, hacia estudios superiores. Lo interesaba en todas las manifestaciones de la naturaleza y confesaba verse a menudo perplejo ante sus preguntas o las justas críticas que oponía a las explicaciones generalmente admitidas.

Los resultados de esta buena enseñanza, dada a un espíritu superior, no se hicieron esperar, y a los doce años el pequeño Blas escribió algo así como un tratado de acústica, a raíz de haber sido intrigado por los distintos sonidos que hacían los cubiertos en los platos y los objetos de vidrio usados en la mesa.

En esa época, el precoz físico no tenía todavía ningún conocimiento de matemáticas, pues su padre consideraba que el estudio de esa ciencia le hubiera interesado al extremo de haberle abandonado el del latín y del griego. Es así que cuando Esteban Pascal recibía en su casa a los numerosos sabios con quien estaba en frecuente relación, prohibía a su hijo oir sus conversaciones; pero esta medida no hacía sino excitar la curiosidad del niño. Este le pidió un día le dijera lo que eran las matemáticas, a lo que le contestó que era "el medio de hacer figuras justas y de en-

(1) "Vie de Pascal, par Mme. PERIER, sa sœur".

contrar las proporciones existentes entre ellas", pero volvió a prohibirle preocuparse de esto, pues tendría suficiente tiempo para hacerlo más tarde.

El inteligente niño no pudo obedecer a la orden paterna y en su cuarto de juegos empezó a dibujar figuras en las baldosas del piso, con un trozo de carbón. Absorbido en esta ocupación, su padre le sorprendió un día y, preguntándole al niño lo que hacía, éste le contestó que había establecido varias relaciones entre los "redondeles" y las "rayas" que dibujaba y que estaba demostrando una que recién



BLAS PASCAL

había descubierto... ¡Cual no fué la emoción del padre al ver que su hijo había descubierto más de treinta proposiciones de la geometría de EUCLIDES! Desde entonces, le dejó estudiar las matemáticas y le dió los elementos de EUCLIDES, que el niño leyó y entendió sin necesitar explicación alguna.

Desde 1635, varios sabios habían formado una pequeña sociedad científica, que fué el embrión de la Academia de

Ciencias y que tenía sus sesiones alternativamente en casa de cada uno de ellos, siendo los más asiduos ROBERVAL, MYDORGE, CARCAVI, LE PAILLEUR y ESTEBAN PASCAL. Blas empezó a frecuentar estas reuniones en las que pronto pudo intervenir eficazmente, pues había hecho grandes progresos en matemáticas.

A los diez y seis años, escribió un "Tratado de las cónicas", tan notable que DESCARTES, admirado, se resistió a creer de que fuera un niño quien lo había escrito. Más admirable aún es que ese niño tenía tal modestia que no quiso publicar el trabajo que tanta fama le hubiera proporcionado por su valor científico y la juventud de su autor.

A pesar de que su salud ya se resentía del exceso de trabajo, Pascal siguió prodigándose, y, a los diez y nueve años, inventó una máquina de aritmética, que hacía automáticamente adiciones y substracciones y que LEIBNIZ perfeccionó más tarde extendiéndola a la multiplicación y a la división.

En 1646, MERSENNE comunicó al físico cartesiano PIERRE PETIT (1598-1667) la noticia del experimento de TORRICELLI y éste a su vez la hizo conocer a Pascal, que se interesó mucho en ella y se preocupó en comprobarla. Para esto repitió el experimento del sabio italiano empleando agua y vino, y observó que, aún inclinando los tubos, la altura vertical del líquido es constante. En esa época, sin embargo, explicaba estos fenómenos por la antigua teoría del "horror al vacío", pues le habían comunicado el experimento de TORRICELLI sin la explicación que éste le daba. Cuando supo que TORRICELLI atribuía la permanencia del líquido en el tubo al equilibrio de su peso con la presión del aire, se mostró entusiasmado por ello, pero sabía que para convencer a los partidarios de la teoría peripatética se necesitaría una demostración mucho más evidente. El primer experimento que realizó, y el primero que demostrara directamente la influencia de la presión atmosférica, fué el siguiente: Se hace comunicar con el vacío de un ba-

rómetro una rama de un tubo en forma de U que contiene mercurio y en el cual existe el vacío en la parte superior de la otra rama. El mercurio llega a la misma altura en las dos ramas, pues en las dos existe el vacío, pero si se deja entrar aire en la parte superior del barómetro, el mercurio se eleva en la rama vacía a 76 cm. encima del nivel de la otra rama, lo que demuestra directamente que, al abrir el tubo, el aire ha ejercido una presión igual al peso de la columna de 76 cms. de mercurio.

Pascal imaginó varios otros experimentos para demostrar que la presión atmosférica disminuye con la altura. Uno de ellos consistía en cerrar con un hilo una vejiga que se había dejado abierta en la superficie del suelo y luego subir con ella a lo alto de una torre. Se observaba que la vejiga parecía contener entonces más aire que en el suelo, pues se inflaba considerablemente por el desequilibrio entre la presión del aire interior, que era la presión atmosférica al nivel del suelo, y la presión atmosférica a esta altura.

Como en aquella época Pascal vivía con su padre en Ruán, encargó a su cuñado PERIER, radicado en Clermont, de subir al Puy-de Dome con un barómetro y comparar las indicaciones del instrumento con las que obtendría otro observador que se quedaría en el valle. En Septiembre de 1648, PERIER acompañado por varios eclesiásticos y otros intelectuales de la localidad, cumplió exactamente con su misión y observó que el barómetro que llevaba había bajado de más de ocho centímetros a una altura de tres mil pies, mientras que el aparato que había quedado en el valle había indicado la misma altura durante todo el día. A solicitud de otras personas, que no habían acompañado a PERIER en la montaña, éste realizó experimentos parecidos en distintos puntos de la ciudad y "en el mismo alto de la torre de Nuestra Señora de Clermont, para comprobar si hubiera diferencia", obteniendo siempre resultados positivos. Estos experimentos, que Pascal reprodujo en París en una torre de unos 50 metros, decidieron definitivamente a los sabios a favor de la teoría de la pesantez del aire y sólo algunos peripatéticos obstinados defen-

dieron aún la antigua teoría del "horror al vacío". Recordaremos aquí que, al hablar de MERSENNE, hemos visto que este sabio ya había ideado el experimento que PERIER realizó a pedido de Pascal, y que DESCARTES fué quizás el primero en idearlo. (Véase MERSENNE y DESCARTES).

En 1653, Pascal terminó sus dos obras: "El Equilibrio de los Licores" y "Pesantez de la Masa del Aire", (1) pero no fueron publicadas sino en 1663, un año después de su muerte.

"El Equilibrio de los Licores" es un tratado completo de hidrostática en que Pascal establece, entre otros principios fundamentales, el conocido por "Principio de Pascal"; pero debe reconocerse que casi todos estos principios ya se encontraban en la obra de MERSENNE (1644) quien a su vez, los debía en parte, a BENEDETTI (1585), en cuya obra absolutamente personal de hidrostática, se encuentran las proposiciones fundamentales del tratado de Pascal. Debe agregarse que Pascal conocía las obras de MERSENNE y que éstas contenían los enunciados de las leyes de STEVIN (2).

Pascal explicó en los siguientes términos el principio de la prensa hidráulica:

" Si un recipiente lleno de agua, cerrado por todas
" partes, tiene dos aberturas, una cien veces mayor que
" la otra, colocando en cada una un pistón que quede
" ajustado, un hombre que empuja el pequeño pistón
" igualará la fuerza de cien hombres que empujan el
" que es cien veces mayor".

Pascal no tenía treinta años cuando había realizado todos estos descubrimientos y es indudable que hubiera te-

(1) Léase una selección de citaciones de estos trabajos en "GAY, Lectures Scientifiques", pág. 100-142.

(2) Véase "Le principe de Pascal", por P. DUHEM. Revue Gén. des Sciences, 15 de Julio de 1905. (Véase biografía de STEVIN).

nido una influencia mayor sobre el progreso científico si en primer lugar, hubiera realizado una obra científica metódica y continua y no irregular y sujeta a momentos de entusiasmo como fué la suya, y si, desde la edad de veinticuatro años, no hubiese empezado a preocuparse más especialmente de religión, dejando en segundo lugar sus estudios científicos, que abandonó poco a poco. Sin embargo, mandó todavía a la sociedad científica de la que formaba parte su padre, algunos trabajos de matemáticas entre los cuales se encontraban, en 1654, su "Tratado del Triángulo Aritmético"; en 1658, un importante estudio de la cicloide; y, en 1659, la historia de esta curva.

En 1654, Pascal pasaba en coche el puente de Neuilly cuando los caballos desbocados se precipitaron en el río y fué extraordinaria y feliz ocurrencia o milagro que el coche quedara suspendido en el borde del puente. Este accidente impresionó tanto a Pascal que desde entonces aumentó su aislamiento y se acrecentó la profunda devoción que le permitió sufrir con resignación las crueles enfermedades que le arrebataron la vida en 1662, a los treinta y nueve años. (1)

---

(1) Terminado este breve estudio de Pascal y de su obra científica relacionada con la Física, no resistimos al deseo de agregarle, a manera de apéndice, el relato de un incidente, al cual el sabio permanece completamente ajeno, pero que reviste un singular interés y encierra un buen consejo de prudencia para el historiador de ciencias.

En 1867, el matemático francés MIGUEL CHASLES, anunció a la Academia de Ciencias que tenía pruebas de que la prioridad del descubrimiento de la atracción universal pertenecería a Pascal y no a NEWTON, y presentó, para demostrar ese descubrimiento sensacional, una abundante documentación entre la cual figuraban cartas de Pascal a BOYLE escritas de 1652 a 1655 en las cuales se encontraba ya el enunciado exacto de las leyes de la atracción establecidas más tarde por NEWTON y cartas de la madre de NEWTON en las cuales agradecía a Pascal por haber visitado a su hijo y haberle dado consejos y enseñanzas.

El asunto provocó sorpresa en Francia donde algunos sabios se inclinaron a creer en la veracidad de las afirmaciones de CHASLES mientras que otros adoptaban una actitud de expectativa prudente y otros en fin, como DUHAMEL y LE VERRIER, defendían con sinceridad los derechos de NEWTON.

En Inglaterra, la acusación de plagio emitida contra su gloria nacional, provocó indignación; y BREWSTER protestó ante la Academia

BUONO
(1625-1662)

Compresión de los líquidos. Calor radiante.

PABLO BUONO, nació en Florencia en 1625 y murió en Viena en 1662, era hermano de CANDIDO BUONO y fué, como él, discípulo de GALILEO y socio de la Academia del Cimento.

El Príncipe Leopoldo lo incluyó entre los individuos de esta sociedad, con la esperanza de hacerlo volver a Florencia, pero Buono prefirió permanecer en Alemania donde era matemático del Emperador Fernando III, y no asistió nunca a las sesiones de la Academia, de la que debe ser considerado más bien como corresponsal.

Entre sus numerosos experimentos de física, se destacan algunos sobre la incompresibilidad de los líquidos, cuestión que, como lo hemos visto, interesó mucho a la academia florentina. Hizo una interesante observación de calor radiante al notar que éste no se propaga a una lente de hielo que lo condensa.

---

de Ciencias por haber tomado en cuenta tan ridícula hipótesis. Muchos hechos se oponían a la tesis sostenida por CHASLES, pues no sólo en las obras de Pascal no se encontraba referencia alguna acerca de la atracción universal, sino que, además, era difícil creer que Pascal hubiese podido llegar a establecer ese gran principio de la gravitación y su ley de proporción directa con las masas e indirecta con el cuadrado de las distancias, pues le faltaban para ello los elementos que permitieron a NEWTON conseguir tan hermosa conquista. En el tiempo de Pascal, en efecto, se ignoraba la distancia de la Tierra a la Luna, las dimensiones exactas del meridiano terrestre, la masa y la densidad de los planetas.

Durante dos años, sin embargo, la Academia de Ciencias estudió y discutió los documentos presentados por CHASLES. Estos documentos iban además en continuo aumento y llegaron a varios millares, ostentando la firma de los más grandes sabios de los siglos XVII y XVIII.

Fué sólo a fines del año 1869, que el mismo CHASLES confesó en la Academia de Ciencias, que después de una confrontación de algunos de sus documentos firmados por GALILEO con manuscritos auténticos de este sabio, había llegado a la conclusión que quien le había proporcionado su abundante documentación era un simple falsificador que le había extorsionado, por este procedimiento, una suma de ciento cincuenta mil francos.

Y así terminó este incidente que provocó grandes y acaloradas discusiones en los ambientes científicos de 1867 a 1869.

Estudió la incubación artificial y realizó con su discípulo MONTANARI experimentos que no tuvieron mayor éxito. (1)

FABRI
(1606-1688)

Su defensa de la teoría de Copérnico. Optica. Teoría de los colores. Cohesión. Capilaridad.

HONORATO FABRI, jesuíta, físico, teólogo y astrónomo, nació en 1606 en el Bugey (región francesa que fué devuelta por Saboya a Francia en 1601) y murió en Roma en 1688.

Hizo sus estudios eclesiásticos en Lyon y fué a Roma a ocupar el puesto de gran penitenciero de la Inquisición.

Este puesto le valió la protección del príncipe Leopoldo II, a quien había sido presentado por RICCI, y que le dió el título de Socio Corresponsal de la Academia del Cimento.

Fabri quiso demostrar que las teorías de COPERNICO no se oponían a las Santas Escrituras, pues se podía siempre atribuir a éstas un sentido figurado sin creer ciegamente en los hechos que refieren, y este atrevimiento provocó el furor de sus colegas los inquisidores que encarcelaron al gran penitenciero del Santo Oficio y sólo le devolvieron la libertad a pedido del príncipe Leopoldo.

Al lado de este acto encomiable, Fabri ha cometido la injusticia de atacar las teorías de HUYGHENS sobre Saturno, con argumentos absolutamente sin valor y por la

(1) La incubación artificial era conocida por los egipcios desde unos cuatro siglos antes de J. C. y quizá antes por los chinos. ARISTOTELES y muchos otros sabios se refieren a ella en sus obras; después de la Edad Media, los primeros experimentos fueron hechos en el siglo XVII, cuando Fernando II de Médicis hizo instalar hornos de incubación en Florencia; pero fué sólo a fines del siglo XIX que se inventaron en Francia máquinas que dieron resultados prácticos.

única razón de que el sabio holandés era protestante. HUYGHENS rechazó fácilmente los ataques del jesuíta y éste tuvo la franqueza de reconocer su error, después de haberse visto refutado también por la Academia.

Escribió obras de óptica en que se encuentran ideas exactas al lado de groseros errores que denotan un conocimiento superficial. En todas sus obras además se observa esta mezcla de ignorancia y de fantasía con observaciones científicas de interés.

Su explicación del color azul del cielo, que atribuía a la reflexión de la luz solar sobre partículas en suspenso en el aire, reemplazaba ventajosamente la de VINCI (reproducida por GOETHE en su "teoría de los colores"), que consideraba este color azul como producido por la reflexión de la luz solar en la atmósfera y su mezcla con la obscuridad de los espacios celestes.

Su teoría de la cohesión era algo infantil. Creía que las partículas de la materia tienen ganchos que las unen unas a otras con especies de engranajes.

Se ocupó también de capilaridad (1669); observó que el líquido no sale nunca por la parte superior del capilar y creyó deber atribuir la capilaridad a la presión del aire, concepto que BORELLI ya había refutado. (1667)

CASSINI

DOMINGO (1625-1712)
JACOBO (1677-1756)
CESAR (1714-1784)
JACOBO DOMINGO (1748-1845)

Su colaboración con Roemer en la determinación de la velocidad de la luz.

El célebre astrónomo italiano DOMINGO CASSINI nació en 1625 en Perinaldo, cerca de Niza, y murió en 1712 en París.

Recibió su educación en el colegio de Jesuítas de Genova y a los veinticinco años ocupó la cátedra de matemáticas de Bolonia, dejada vacante por la muerte de CAVALIERI.

Su intenso trabajo de astronomía empezó desde entonces colaborando con el senador de Bolonia, marqués MALVASIA (1), que llegó a alejar de la astrología.

PICARD (2) se interesó mucho en las obras de Domingo Cassini y aconsejó a Colbert de llamarlo a Francia. Es así que llegó a París, en 1669, se naturalizó francés, fué hecho miembro de la Academia de Ciencias, astrónomo del Rey, director del Observatorio de París, a cuya fundación colaboró, y... demostró, al solicitar y aceptar este último puesto, mucha ingratitud hacia su colega francés que era el indicado para ocuparlo, olvidando demasiado pronto que le debía todos esos honores.

Cassini llevó más lejos aún su falta de delicadeza hacia su bienhechor mostrándose siempre envidioso de sus éxitos y llegando hasta discutirle, sin razón, sus derechos sobre

---

(1) El MARQUES DE MALVASIA. (Bolonia 1603-1644), astrónomo aficionado, dividía la lente del anteojo con un tejido de alambre de plata, y los italianos le atribuyen por esta razón el invento del micrómetro, aunque está probado que HUYGHENS (1659) usaba un aparato parecido unos tres años antes y que MORIN inauguró la historia de este invento en 1634.

(2) JUAN PICARD (La Fléche 1620-París 1682), sacerdote y astrónomo, reemplazó a su amigo GASSENDI como profesor de Astronomía en el Colegio de Francia en 1655; fué miembro de la Academia de Ciencias de París desde su fundación (1666). Sin temer la rivalidad de sabios meritorios, animado únicamente por un amor profundo a la Ciencia y a su patria, hizo venir a Francia a CASSINI y a ROEMER. Entre sus descubrimientos y trabajos astronómicos sólo recordaremos que hizo una medida del meridiano, lo suficientemente perfecta para demostrar a NEWTON la exactitud de su teoría de la forma de la Tierra y permitió así al gran sabio inglés seguir su estudio del movimiento de los astros del que dedujo su famosa ley de la atracción universal. En física, fué el primero en observar la luz producida por el mercurio al agitarlo en el vacío barométrico y la atribuyó a la fosforescencia, pero HAWKSBEE demostró que no era esta la causa. Los franceses atribuyen a PICARD y a ADRIANO AUZOUT (Ruén ¿?-1691) el invento del micrómetro, pero estos sabios sólo parecen haber sido sus primeros aplicadores. Picard fué también el primero en estudiar la influencia de la temperatura sobre la duración de las ocilaciones del péndulo (1670), defecto que GRAHAM y HARRISON corrigieron con el invento de los péndulos compensadores.

la medida de la Tierra, que éste ejecutó por orden del Rey en 1669.

No podemos estudiar aquí en detalle la amplia obra de Cassini y sólo citaremos su descubrimiento de cuatro satélites de Saturno, sus observaciones sobre la forma y la rotación de Júpiter, Marte y Venus, su descubrimiento de la luz zodiacal, su creencia de que el Sol tiene un movimiento de revolución, su descubrimiento de las leyes de la libración de la Luna y sus tablas de los satélites de Júpiter. Entre los numerosos errores que cometió debe recordarse que este gran astrónomo era todavía partidario de la teoría geocéntrica.

En física, su nombre merece ser recordado no sólo por haber sido miembro corresponsal de la Academia del Cimento, sino también por su observación hecha con ROEMER (Nov. 9 de 1676) de algún atraso aparente en los movimientos de revolución de los satélites de Júpiter, atraso que atribuyó al tiempo que demora la luz en llegar hasta el observador.

Esta explicación sugirió a ROEMER la idea de su famoso método de medida de la propagación de la luz. Pero, desgraciadamente, Cassini creyó haberse equivocado, influído sin duda por el prestigio de la teoría cartesiana de la propagación instantánea de la luz, y, mientras ROEMER perseguía con éxito su idea, él la abandonó y hasta se opuso a las conclusiones de su colega danés.

Cassini formó parte de la comisión nombrada por la Academia de Ciencias y compuesta además por MARALDI y LA CAILLE, encargada de la comprobación de la medida de la velocidad del sonido.

El nombre de Cassini ha sido glorificado por tres de sus descendientes:

Su hijo, JACOBO CASSINI, nació en París en 1677 y murió en 1756. Fué hecho individuo de la Academia de Ciencias a los 17 años.

Era amigo de NEWTON, HALLEY, FLAMSTEED, GREGORY y otros grandes sabios. Continuó una medida del meridiano empezada por su padre (1) y fué el primero en pensar en hacer hervir el mercurio de los barómetros sin explicarse sin embargo el porqué de esta operación.

CESAR FRANCISCO CASSINI nació en París en 1714 y murió en 1784. Era hijo de Jacobo; fué astrónomo como su padre y su abuelo, miembro de la Academia de Ciencias y Director del Observatorio; corrigió los trabajos de su abuelo.

JACOBO DOMINGO CASSINI, conde de Thury, nació en París en 1748 y murió en 1845, era hijo de CESAR; fué miembro de la Academia y Director del Observatorio; terminó el mapa de Francia empezado por su padre.

---

(1) Fué ayudado en esta tarea por el geómetra francés FELIPE DE LA HIRE, que había sido va compañero de su padre en los trabajos realizados anteriormente. LA HIRE era hijo del célebre pintor Lorenzo de la Hire, uno de los fundadores de la Academia de Pintura. Nació en París en 1640 y murió en la misma ciudad en 1718. Empezó por ocuparse de pintura, como su padre y fué a Italia para perfeccionarse; pero allí su espíritu evolucionó hacia las ciencias y se ocupó entonces conjuntamente de astronomía, física, matemáticas y ciencias naturales. LA HIRE debe ser clasificado entre los inteligentes y activos observadores, pero no entre los grandes espíritus científicos, pues se ha limitado a numerosas e interesantes observaciones sin detenerse mayormente en las teorías o fallando en sus explicaciones. En 1678, entró en la Academia de Ciencias, en la que figuran centenares de sus memorias sobre las cuestiones científicas más distintas. Fué profesor de matemáticas en el Colegio de Francia. Sus principales obras son de Geometría y de Astronomía. En física, se recuerda que, conjuntamente con otros sabios del tiempo, defendía la teoría según la cual, en las cuerdas vibrantes, no son causa directa del sonido las vibraciones de las cuerdas sino otras vibraciones pequeñas de las moléculas. NEWTON se oponía a esta opinión.

MONTANARI
(1633-1687)

Capilaridad. Lágrimas batávicas. Bocina.

GEMINIANO MONTANARI, que hemos citado como corresponsal de la Academia del Cimento y discípulo de PABLO BUONO, nació en Módena en 1633 y murió en Padua en 1687.

Pasó varios años en la corte de Alfonso IV, duque de Módena, y en la casa del MARQUES MALVASIA, a quien reemplazó en su cátedra de matemáticas en Bolonia. De 1678 hasta el fin de su vida, ocupó la cátedra de matemática en la Universidad de Padua.

Publicó numerosas obras de matemáticas y física y en estas últimas se ocupó de la capilaridad, ya estudiada por BORELLI, FABRI, BOYLE y GRIMALDI, de las lágrimas batávicas y de la bocina. Este aparato ha sido probablemente inventado en 1670 por SIR S. MORLAND (1), perc muchos historiadores hacen remontar su invento a épocas mucho más lejanas y es así que hemos visto que se atribuye a ARISTOTELES el invento de una bocina que Alejandro usaba para mandar a sus tropas. En este caso podría haber fácilmente una confusión entre la bocina portavoz, que aumenta el alcance de la voz humana, y la que no hace sino llevar gritos como los caracoles que se usaban a manera de trompeta en la antigüedad clásica.

---

(1) Sir SAMUEL MORLAND (1625-1695), hijo de un pastor protestante del Condado de Berk, estudió en Cambridge; escribió obras de religión y de ciencias y fué nombrado mecánico real por Carlos II de Inglaterra, de quien se había atraído los favores denunciándole una conspiración. Publicó tratados de mecánica e hidráulica y realizó numerosos e ingeniosos inventos. Era célebre por la construcción de sus aparatos de física y sobre todo de barómetros. Algunos historiadores ingleses le atribuyen erróneamente el invento de una máquina de vapor cuando sólo se puede decir que Morland tenía un perfecto conocimiento de la cuestión y que realizó muy interesantes experimentos hacia 1682. Con más derecho se le considera como el inventor del portavoz, del cual dió una explicación considerando que las ondas sonoras se reflejan en las paredes

WORCESTER
(¿1601?-1667)

Orígenes de la máquina de vapor. Worcester inicia el "período de aplicación de la máquina de vapor".

EDUARDO SOMERSET, conde de GLAMORGAN, marqués de WORCESTER nació a principios del siglo XVII (¿1601?) y murió en Londres en 1667.

Era poseedor de una inmensa fortuna, que perdió durante el desgraciado reinado de Carlos I, en cuya defensa tomó valientemente las armas. Vencido, se refugió en Francia donde no desfalleció en su ardor realista, pero, en 1656, volvió a Londres, encargado de una misión secreta. por sus compañeros de destierro, y fué descubierto y encarcelado en la Torre de Londres. Cuando Carlos II volvió a Inglaterra (1661), devolvió la libertad a este fiel servidor, pero, mal aconsejado por cortesanos interesados, no le demostró ninguna gratitud y lo dejó vivir y morir en la más injusta miseria.

El marqués de Worcester era un hombre estudioso, erudito y sobre todo ingenioso. En 1663, publicó una interesante descripción de sus inventos a la que dió el larguísimo título de: "Cien nombres y muestras de inventos que recuerdo haber realizado o perfeccionado y de los que he perdido las primeras notas. A solicitud de un amigo poderoso los he descrito aquí, en este año de 1655, de tal modo que las explicaciones sean suficientes para que se pueda realizar cualquiera de ellos".

En esta obra que se acostumbra llamar "Los Cien Inventos de Worcester", se encuentra la descripción de una

---

del tubo y por este motivo le dió más de dos metros de longitud (1671). También merece ser recordado su barómetro estático (1670) que consiste en colgar un barómetro de TORRICELLI del platillo de una balanza para medir las variaciones de presión atmosférica de acuerdo con las variaciones de peso de la columna barométrica. Fijando un lápiz en el fiel de la balanza, el irlandés ARTURO MACQUIRE lo cambió en un barógrafo (1791), que SECCHI perfeccionó (1867).

máquina que ha inducido a los historiadores ingleses, a considerar a su autor, como el verdadero inventor de la máquina de vapor moderna, y los ha llevado así a una larga discusión con los historiadores y sabios extranjeros que en su mayor parte no reconocen tal título a Somerset.

Aprovecharemos esta ocasión para reunir aquí los datos históricos que permiten establecer los orígenes de la máquina de vapor (1) a cuyo invento y perfeccionamiento dedicaremos de aquí en adelante muchas líneas, pues es en esta época del siglo XVII que los sabios empezaron a darse cuenta de la importancia de la utilización de la fuerza de expansión del vapor como fuerza motriz.

Los filósofos griegos, y ARISTOTELES muy particularmente, habían observado que el vapor tiende a ocupar un espacio considerable y es probable que hayan sospechado que al dilatarse ejerce una cierta fuerza, pero nada nos permite suponer que hayan considerado la posibilidad de utilizar esta fuerza. Entre las obras antiguas la primera que menciona el empleo del vapor para dar movimiento a máquinas es la "Neumática" de HERON DE ALEJANDRIA, cuyo nombre ocupa lugar de preferencia en la historia de la mecánica en la antigüedad, aunque algunos autores dudan si fué el verdadero inventor de las máquinas que describe, o si se deben atribuir a su maestro CTESIBIO o aún a mecánicos anteriores a estos dos grandes sabios. Entre las máquinas que describe HERON llama sobre todo la atención un depósito que hace aprovechar la fuerza de dilatación del aire calentado por el fuego del altar de un templo y aplicada de tal modo que las puertas del templo parecen abrirse por sí solas; otra en que un chorro de vapor mantiene en suspenso en el aire a un globito de vidrio; una fuente que funciona cuando se expone al sol porque su calor dilata el aire contenido, que ejerce así una fuerte presión sobre el agua; silbatos y bombas en que sopla el vapor;

(1) Sobre la historia de la máquina de vapor, léase: "Notices Scientifiques" de ARAGO. Tomo II; "Histoire de la machine à vapeur", por THURSTON; FIGUIER, "Merveilles de la Science", Tomo I.

y en fin, la eolipila. Este aparato, considerado generalmente como la primera máquina de vapor, consiste en una caldera herméticamente cerrada que comunica con una esfera hueca de metal por dos tubos que traen a ésta el vapor y le sirven de eje de rotación. La esfera lleva, además, dos pequeños tubos doblados en ángulo recto y diametralmente opuestos, de modo que, cuando se calienta agua en la caldera, el vapor penetra en la esfera y sale al exterior por estos tubos y la reacción hace girar rápidamente la esfera. Este interesante aparato es evidentemente una de las primeras máquinas transformadoras de energía calorífica en movimiento. La eolipila fué conservada por los romanos sin ser perfeccionada ni empleada para producir un trabajo útil y, hasta el siglo XVI, no se registra ninguna aplicación del vapor si no es, a fines del siglo X, un órgano a vapor instalado en la Iglesia de Reims por GERBERT, el futuro papa Silvestre II (Auvernia 940-Roma 1003).

GERONIMO CARDANO, y muchos otros sabios de la segunda mitad del siglo XVI, demostraron saber que la fuerza del vapor podría utilizarse para trabajos útiles, y algunos de ellos construyeron pequeñas máquinas en que se utilizaba el movimiento rotativo de la eolipila; parece que en esa misma época, se llegó a utilizar la eolipila como máquina de guerra y que se construyeron también cañones a vapor.

PORTA, en 1601, describió una máquina en que la presión del vapor hace salir el agua contenida en un recipiente y puede ser exactamente comparada a la fuente construída por HERON con el único perfeccionamiento de que, en la máquina de PORTA, no es el aire dilatado por el calor de los rayos solares que ejerce presión sobre la superficie del líquido, sino el vapor que se hace penetrar en el recipiente por un tubo que proviene de una caldera. Hemos visto también como SALOMON DE CAUSS construyó, unos 14 años más tarde, una máquina parecida, pero con la que quiso realmente elevar agua a una cierta altura y por esto alargaba considerablemente el tubo, mientras que PORTA, quería solamente hacer salir el agua del recipiente, pues

creía que podría determinar así la relación entre el volumen del vapor y el volumen del agua que lo forma.

En 1629, el italiano BRANCA (1) imaginó una máquina que parece tener más utilidad que las anteriores y consistía en una caldera de la que se escapaba un fino chorro de vapor dirigido contra una rueda horizontal de paletas, que a su vez accionaba engranajes de toda clase de máquinas.

Con esta máquina, hemos llegado al final del período de la historia de la máquina de vapor que THURSTON intitula: "el período especulativo". Hemos visto tres tipos de máquinas: la de reacción o eolipila, la de presión de PORTA y de CAUSS y la especie de turbina de vapor de BRANCA.

Todos esos inventos eran muy ingeniosos y llamaron la atención sobre el estudio del vapor, pero no tuvieron ningún resultado práctico.

En la segunda mitad del siglo XVII se dió un enorme paso en el perfeccionamiento de la máquina y no es sin razón que el sabio americano que acabamos de citar denomina ese período, en que se destacan los trabajos de WORCESTER, PAPIN y SAVERY, "el período de aplicación".

La discutida influencia de WORCESTER sería, según los autores ingleses, de haber inventado una máquina de elevar agua que consistía en una máquina CAUSS y una máquina de PORTA, que funcionaban alternativamente a fin de que el movimiento no fuera interrumpido.

Expliquémosnos: Consistía en una caldera cerrada con un tubo que llegaba hasta el fondo y salía a cierta altura al exterior (aparato de CAUSS) y otro tubo que hacía comunicar la parte superior de esta caldera con la parte superior de un segundo recipiente (máquina de PORTA) también provisto de un tubo de salida de agua que penetraba hasta su fondo; además, los dos recipientes tenían cada uno, un tubo con llave para hacer entrar el agua en el aparato.

(1) JUAN BRANCA (Santo Angel 1571-Loreto 1640), ingeniero italiano, describió su máquina en la obra "Le Macchine Artificiose" (1629).

El gran progreso realizado por Wõrcester no consistiría en el invento mismo del aparato, pues no tiene mucho valor el haber unido la máquina de CAUSS con la de PORTA, pero residiría en la aplicación que hizo de su máquina y señalaría una marcada fecha en la historia de la máquina de vapor, por ser la primera de real utilidad. Pero es justamente en este punto que los sabios están en completo desacuerdo: los ingleses pretenden que instaló su máquina en un castillo cerca de Londres, mientras que los extranjeros, y los franceses especialmente, que están interesados en demostrar la superioridad de SALOMON DE CAUSS, contestan que no sólo no hay prueba de que este aparato funcionara, sino que la vaga descripción dejada por Worcester en su obra, y no acompañada d dibujos como las de PORTA y de CAUSS, no permite siquiera suponer que el mismo Worcester haya realizado experimentalmente su invento.

Si no se atribuyen derechos a Worcester, SAVERY debe ser considerado como el primero que haya perfeccionado la máquina de CAUSS, y PAPIN como el primero que haya construído una máquina de vapor de pistón. Con el estudio de SAVERY y de PAPIN, continuaremos, pues, la historia de la máquina de vapor.

BOYLE
(1627-1691)

Método experimental. Máquina neumática. Manómetro. Areómetro de peso constante. Ley de Boyle-Mariotte. Influencia de la presión sobre el punto de ebullición. Teoría atómica. Otros inventos y experimentos de física.

El célebre físico y químico inglés ROBERTO BOYLE, nació en Irlanda, en la pequeña ciudad de Lismore, en 1626 y murió en Londres en 1691.

Era hijo del conde RICHARD BOYLE, activo propagandista del protestantismo en Irlanda, y fué dirigido

por él hacia la carrera eclesiástica, pero su poca salud impidió que este proyecto se realizara. En 1638, cuando no tenía más de doce años, su padre lo hizo viajar por Europa acompañado de su preceptor a fin de terminar su educación. Visitó Suiza, Francia e Italia y cuando el gran GALILEO murió en su villa de Arcetri, el joven Boyle, que tenía diez y seis años, se encontraba en Florencia. Esta coincidencia no puede pasar inadvertida, pues parece que el futuro "gran experimentador" inglés hubiera recibido en aquel momento, alguna herencia espiritual del gran pisano.



ROBERTO BOYLE

Dos años más tarde, Boyle volvió a Irlanda por la muerte de su padre y heredó grandes bienes, aunque la inmensa fortuna paternal fuera repartida entre quince hijos. Modesto, caritativo y protestante ferviente, se retiró, en 1645, en su propiedad de Stallbridge, en Inglaterra, donde se dedicó al estudio de la filosofía, de la teología y de las ciencias; pero fué sobre todo, en Oxford, en 1654, donde tomó parte en las reuniones del Colegio Filosófico (embrión de la futura Sociedad Real de Londres), que Boyle empezó activos estudios de ciencias naturales, que prosiguió hasta el día de su muerte, acaecida a los 65 años.

Fué el iniciador del movimiento científico en Inglaterra y un ardiente defensor del método experimental. Su opinión al respecto puede resumirse en estas palabras, que se encuentran en su "Discurso Preliminar":

" Si los hombres tomaran más a pecho el progreso
" de la verdadera ciencia que su propia reputación, se-
" ría fácil hacerles entender que el mayor servicio que
" pudieran dar al mundo sería el de poner todos sus cui-
" dados en hacer experimentos, en recoger observacio-
" nes, sin pretender establecer ninguna teoría antes de
" haber dado la solución de todos los fenómenos que
" pueden presentarse".

En la época de Boyle, en efecto, un campo inmenso estaba abierto a los que querían hacer observaciones y experimentos, y su consejo a los sabios de dedicarse más bien a ese trabajo que a una elaboración prematura de teorías generales era, seguramente, inspirado por un espíritu juicioso; pero el consejo era vano, pues si hay espíritus (y los hubo sobre todo en Inglaterra) que pueden con paciencia mantenerse en el estudio perseverante de los fenómenos, hay otros, abundantes en los países latinos, que quieren elevarse a las esferas superiores de la ciencia, aunque no tengan siempre los elementos necesarios. Estos son los responsables de los grandes errores científicos, pero también entre ellos están casi todos los grandes y geniales creadores.

En física, Boyle realizó numerosas observaciones sobre el vacío obtenido por la máquina neumática de GUERICKE, que perfeccionó considerablemente; sobre la velocidad de propagación del sonido en el aire; sobre el calor, que consideraba producido por un movimiento vibratorio de las moléculas. En óptica, descubrió que el índice de refracción no varía proporcionalmente a la densidad de los cuerpos; y, como GRIMALDI, observó fenómenos de interferencia; hizo referencia a la fosforecencia; antes que HOOKE y NEWTON, estudió los anillos coloreados en

las pompas de jabón; y, sobre los colores, hizo muchas observaciones que se atribuyen generalmente a NEWTON.

En electricidad, descubrió nuevos cuerpos eléctricos, extendió el empleo de la palabra "electricidad" y atribuyó los fenómenos eléctricos a un efluvio que recubre los cuerpos, como lo haría una capa viscosa de aceite. Sobre todos los puntos de la física, hizo valiosas observaciones que ahora no nos parecen tan importantes por ser, en su mayor parte, elementales.

En el vacío, hizo muchos experimentos que ya habían sido realizados por GUERICKE, los miembros de la Academia del Cimento o por otros de los tantos sabios de la época que, maravillados por la nueva máquina, observaban todos los fenómenos físicos conocidos en el vacío a fin de descubrir la influencia que pudiera tener el aire en cada uno de ellos. Son también numerosos los experimentos en el vacío que son absolutamente personales a Boyle y, entre ellos, está su observación de que el aire no influye sobre el calor producido por frotamiento como generalmente se creía, su descubrimiento de que las reacciones químicas producen también calor en el vacío, y en fin, que los cuerpos de "gravedad negativa" de ARISTOTELES pierden en el vacío su supuesto "lugar natural alto" y caen al fondo del recipiente como si fuesen líquidos o sólidos.

Para estos experimentos, Boyle se sirvió primero de una máquina neumática parecido a la de GUERICKE, que empezó por modificar aplicándole una cremallera y una tapa amovible para el recipiente en el cual se hacia el vacío. Luego construyó una máquina con dos cuerpos de bomba y una máquina especial de compresión. Muchos de los perfeccionamientos que aportó a la máquina neumática, se deben en parte a su amigo y colaborador PAPIN, el célebre inventor de la máquina de vapor con pistón.

Fué también perfeccionando los dispositivos adoptados por su contemporáneo y, como él, gran experimentador GUERICKE, que Boyle construyó el manómetro de mercurio tal como se emplea aún en las máquinas neumáticas

y, con el mismo fin, el "baroscopio estático", como él lo bautizara, que ahora sólo conocemos como curioso aparato de gabinete.

La intervención de Boyle en el perfeccionamiento del areómetro ha sido importantísima. En esa época de triunfo del método experimental, reapareció el areómetro de ARQUIMEDES para la investigación de la densidad de los líquidos. El médico de Lyon, MONCONNYS (1611-1665) construyó areómetros de vidrio con carga de mercurio o de granalla de plomo, en cuyo cuello afinado se colocaban pesas en forma de aros abiertos hasta hacer llegar el aparato a determinada profundidad (areómetros de volumen constante y peso variable). Boyle los hizo de peso constante y volumen variable colocando en el cuello una escala graduada y construyó densímetros de aplicación especial para líquidos determinados (leche, cerveza, vino etc.)

Llegamos ahora al descubrimiento de la importantísima "ley de BOYLE-MARIOTTE".

Los estudios de Boyle acerca del vacío, o más bien del aire rarificado, lo llevaron naturalmente al estudio de la presión del aire y es así que descubrió la ley de proporcionalidad entre el volumen y la presión de los gases (1660), ley que se atribuye erróneamente a MARIOTTE (1676) como ya lo hemos dicho (véase MARIOTTE). El enunciado de esta ley, tal como lo conocemos hoy día, no fué dado tampoco por Boyle, sino por su discípulo o su corresponsal RICARDO TOWNLEY, que colaboró en sus experiencias. Boyle la comprobó, primero para las presiones de más de una atmósfera, y para presiones menores con los dos aparatos y con los procedimientos que, con el mismo fin, se emplean hoy día en todos los gabinetes de física.

Observó, también por primera vez, la influencia de la presión sobre el punto de ebullición del agua y veremos más adelante qué uso hizo PAPIN de esta observación y qué singular influencia tiene en la historia del invento de la máquina de vapor moderna.

A Boyle se debe también el método de determinación de la densidad de los líquidos por el tubo en U.

En química, la obra de Boyle ha sido tan grande como en física. Citaremos al azar algunos de sus descubrimientos. Fué el primero en diferenciar claramente la mezcla de la combinación química; fué el precursor de LAVOISIER en el descubrimiento del oxígeno, pues sospechaba que en el aire existe un elemento que es el único necesario a la respiración, que contiene "efluvios corrosivos" a cuya causa debe atribuirse la herrumbre, y observó que, si se calcinan, los metales aumentan de peso. Se atrevió, el primero también, a decir que el agua es una combinación y no un elemento y que todos los metales son cuerpos simples y no combinaciones de azufre, mercurio y arsénico, como generalmente se creía en aquella época; que los cuerpos simples son mucho más numerosos de lo que se sospechaba, y que la combinación de éstos en proporciones distintas produce cuerpos completamente distintos. Se preocupó en fin del análisis y enunció muchos principios para llegar a establecer métodos analíticos seguros.

Consideró que los átomos deben ser todos constituídos por la misma materia y que los corpúsculos (moléculas) se diferencian entre sí no por ser de distinta constitución los átomos, sino por estar éstos agrupados de maneras diferentes o estar agitados por movimientos distintos. Boyle fué pues uno de los iniciadores de las teorías sobre el elemento único y sobre la clasificación de cuerpos por el equilibrio atómico, siendo así precursor de PROUT (1786-1850), de DUMAS y aún de MENDELEIEFF.

Ha sido pues abundante y útil a la ciencia la obra intensa de Boyle quien, como TYCHO BRAHE, VAN HELMONT y HUYGHENS, fué un gran señor que prefirió la ardua labor científica a los placeres de la vida mundana que le esperaba.

HUYGHENS
(1629-1695)

Su teoría de la luz. La doble refracción. La polarización de la luz. Primera medida fotométrica. Construcción de lentes y anteojos El péndulo físico. El péndulo cicloidal. El péndulo cónico. Movimientos simpáticos. Fuerza centrífuga. Teoría de los choques Conservación de la fuerza viva. Historia de los relojes. Máquina neumática. Máquina de pólvora. Teoría atómica.

CRISTIAN HUYGHENS VAN ZUYLICHEM, nacido en La Haya en 1629 y muerto en la misma ciudad en 1695, fué uno de los genios más grandes del siglo XVII. Era el segundo hijo de Constantino Huyghens, Señor de Zuylichem (1596-1687), Secretario particular del príncipe de Orange, literato distinguido y político de gran mérito. Su primera educación le fué dada por su padre, que supo despertar en él, el amor a las matemáticas, y, a los diez y seis años, ingresó en la Universidad de Leyden, para seguir los cursos de Derecho, que terminó en Breda, sin que abandonara el estudio de las matemáticas. Desde muy joven empezó a escribir sobre matemáticas, y a los 17 años comunicó a MERSENNE un trabajo que interesó mucho a DESCARTES, que era amigo de su padre y que pronosticó que el joven Cristián sería un excelente matemático. Esta profecía se cumplió como lo prueba suficientemente una simple reseña de su labor científica.

A las veinte y dos años (1651) Huyghens publicó su "Tratado sobre la cuadratura de la hipérbola, de la elipse y del círculo", que era una sabia ampliación y corrección de los trabajos de geometría de GREGORIO DE SAINT VINCENT (1). Tres años más tarde, en 1654, dió sus "Descubrimientos sobre la magnitud del círculo" y empezó sus estudios de dióptrica, que no fueron publicados sino

(1) GREGORIO DE SAINT VICENT, jesuíta y matemático belga, nació en Brujas en 1584 y murió en Gante en 1667. Ha dejado interesantes obras de geometría.

mucho más tarde. En 1656 y 1657 escribió dos obras de matemáticas. En 1658, dedicó a los Estados Generales de su país, una explicación de su invento del reloj de péndulo, que había realizado dos años antes. En 1659, publicó su "Sistema de Saturno" en que describió el descubrimiento de un satélite del planeta y de la forma de su anillo y el invento del micrómetro.



HUYGHENS

Todas estas obras lo hicieron conocer no sólo en su país sino también en el extranjero y cuando, en 1660, viajó por Francia e Inglaterra, los sabios le tributaron una simpática acogida. En 1663, fué elegido miembro de la Sociedad Real de Londres; en 1665, COLBERT lo invitó a París para honrar con su concurso a la nueva Academia de Ciencias y le ofreció además una ventajosa posición en la Biblioteca del Louvre. El año siguiente, Huyghens, aceptando una invitación del ministro francés, se estableció en París, que habitó casi sin interrupción durante quince años.

Fué en el curso de una estada en Holanda que, en 1668, mandó a la Sociedad Real de Londres su teoría de los choques a la que nos hemos referido anteriormente (véase WALLIS y WREN).

En 1673, publicó en París sus "Relojes oscilatorios" en que describió más ampliamente su teoría y aplicación del péndulo y su invento del muelle espiral, que construyó prácticamente con la ayuda del relojero parisiense THURET, el año siguiente.

En 1681, el sabio holandés, que era protestante, abandonó Francia, ya por prudencia pues los católicos volvían a perseguir cruelmente a sus correligionarios, ya por el mal estado de su salud, que empezaba a sufrir las consecuencias de su esfuerzo cerebral. En 1685, indignado por la revocación del Edicto de Nantes, rompió todas sus relaciones con Francia y no comunicó más trabajos a la Academia de Ciencias.

Continuó en Holanda sus estudios de astronomía y, en colaboración con su hermano CONSTANTINO, se ocupó de la construcción de aparatos de óptica.

En 1689, se fué a Inglaterra, donde estuvo en relación con NEWTON y, a su vuelta, publicó su inmortal "Tratado de la luz" (1690) y su "Discurso sobre la causa del peso".

Pasó algunos años más en su patria llevando una vida retirada cuando, en 1695, su espíritu empezó a turbarse y, sólo en momentos de lucidez, pudo poner en orden sus trabajos y encargar a sus amigos, los profesores DE VOLDER y FULLEN, de sus últimos manuscritos. El 8 de Julio del mismo año, un ataque de apoplegía puso fin a esta hermosa vida consagrada enteramente a la ciencia. Sus restos descansan en la Iglesia de San Pedro de Leyden, al lado de Jan Steen, el pintor, y otras excelsas glorias holandesas.

El breve resumen biográfico que acabamos de hacer da cierta idea de la extensión de la obra de Huyghens, pero no puede hacer concebir toda su importancia ni la enorme influencia que tuvo sobre la ciencia.

> " Ningún genio" — dice J. BERTRAND, " ha
> " sido más penetrante que el de Huyghens, ningún es-
> " píritu más vasto, ninguna vida ha sido consagrada
> " con más perseverancia y amor a la contemplación de

" las verdades más altas, a la cultura inteligente de " las artes, a las relaciones amables con los más gran- " des espíritus de su siglo".

Despreocupándonos aquí de su obra matemática y astronómica, resumiremos sus descubrimientos principales de física, que son especialmente mecánicos y ópticos.

Empezaremos por su obra maestra, su teoría de la luz basada en las ondulaciones. Desde 1669, NEWTON había tomado la defensa de la hipótesis de la emisión, que consistía en suponer que la luz es producida por el continuo bombardeo de partículas lanzadas en todas direcciones con asombrosa velocidad. En 1678, Huyghens empezó a establecer una teoría completamente distinta en que explicaba los fenómenos luminosos por ondulaciones longitudinales análogas a las del sonido, pero de trepidación mucho más rápida y que se propagan por medio de una substancia imponderable existente en todas partes. Llegó a esta conclusión después de haber estudiado la doble refracción y la publicó en 1690 en su "Tratado de la luz" (1), que puede ser considerado como una de las obras de más valor de la física por la genialidad de su concepto y el valor y la exactitud de sus razonamientos. Esta teoría, universalmente admitida desde hace más de un siglo, desde que FRESNEL la defendió brillantemente y corrigió y amplió los conceptos de Huyghens, quedó sin embargo, en el más completo olvido durante casi un siglo y medio, pues la materialización de la luz y del calor radiante triunfaba en todos los espíritus, aunque no permitía explicar satisfactoriamente fenómenos como la velocidad única de propagación para los distintos colores e intensidades luminosas, las interferencias, la doble refracción y la difracción.

Dada la importancia científica e histórica del célebre "Tratado de la luz" creemos necesario, aún a riesgo de alargar en algo este rápido estudio, detenernos con especial aten-

(1) "Traité de la lumière" CHRISTIAN HUYGHENS (1690). (Collection des maitres de la Pensée Scientifique. París 1920).

ción en esa obra. En el primer capítulo, Huyghens mismo nos explica en pocas líneas el plan general del libro:

> " Trataré en este libro de dar razones más claras
> " y más verosímiles, primeramente de las propiedades
> " de la luz directamente extendida, en segundo lugar
> " de la que se refleja por el encuentro de otros cuer-
> " pos. Luego explicaré los síntomas de los rayos que
> " se dice que sufren refracción al pasar por cuerpos
> " diáfanos de distintas especies y al mismo tiempo
> " trataré también de los efectos de la refracción del
> " aire por las distintas densidades de la atmósfera.
> " Después examinaré las causas de la extraña refrac-
> " ción de cierto cristal que se trae de Islandia y en úl-
> " timo lugar trataré de las distintas figuras de los cuer-
> " pos transparentes y reflectores, por los cuales los
> " rayos son reunidos en un punto o desviados de dis-
> " tintas maneras".

Después de considerar algunos argumentos sencillos y más bien de orden filosófico contra la teoría de la emisión, agrega:

> " Además, cuando se considera la extrema velo-
> " cidad con que la luz se extiende por todas partes. y
> " que, cuando vienen de varios lugares, aún opuestos,
> " las luces se atraviesan la una o la otra sin oponerse,
> " se entiende bien que cuando vemos un objeto lumi-
> " noso no podría ser por el transporte de una materia
> " que desde este objeto viene hasta nosotros como una
> " pelota o una flecha que atraviesa el aire, pues esto
> " repugna demasiado a aquellas dos cualidades de la
> " luz y sobre todo a la útima. Es, pues, de otra ma-
> " nera que se extiende y lo que nos puede conducir a
> " comprenderlo es el conocimiento que tenemos de la
> " extensión del sonido en el aire".

Para probar entonces que la propagación — o "extensión" como él la llama — de la luz necesita tiempo, explica el error que cometió DESCARTES al tratar de probar su

instantaneidad por la observación de los eclipses lunares, error que proviene de que DESCARTES no suponía la posibilidad de una velocidad tan grande como la que se atribuye ahora a la luz. Al final de su refutación Huyghens agrega:

> " Pues siempre me ha parecido, y a muchos otros " conmigo, que hasta Descartes, que tuvo por pro- " pósito tratar inteligentemente todos los temas " de la física, y que, seguramente, ha tenido mu- " cho más éxito que cualquier otro antes que él, " no ha dicho nada que no esté lleno de dificultades o " mismo inconcebible, en cuanto a la luz y sus pro- " piedades".

Huyghens explica entonces el método de determinación de la velocidad de la luz de ROEMER, determinación que es posterior a su primera hipótesis de no instantaneidad.

Luego explica en qué se diferencian las ondulaciones sonoras de las luminosas: las primeras son provocadas por la vibración del cuerpo sonoro entero, las segundas por las últimas partes del cuerpo luminoso; las primeras se propagan por el aire, las segundas por el éter; y, en fin, las ondas sonoras están formadas por compresiones y dilataciones alternativas del aire, mientras que el movimiento de la luz debe propagarse más bien como se propaga el movimiento de un cuerpo duro que choca contra otros cuerpos duros (y aquí Huyghens aprovecha la teoría de los choques a la que nos hemos referido).

Hasta aquí, Huyghens no ha salido de la hipótesis general de las ondulaciones longitudinales ya sostenida — como él lo dice — por "el señor HOOKE en su Micrografía

> " y el PADRE PARDIES (1) que, en un tratado del " que me hizo ver una parte y que no pudo acabar, ha- " biendo muerto poco tiempo después, había intentado

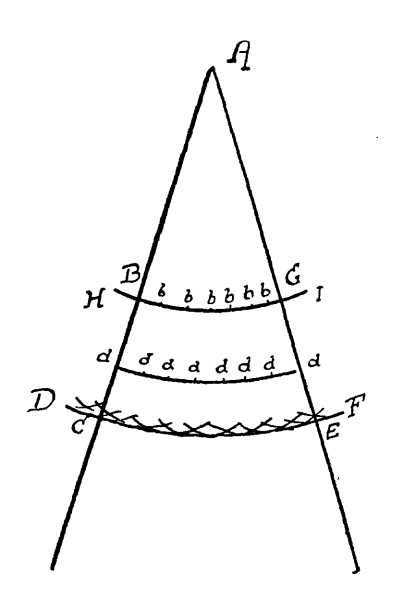
(1) Padre IGNACIO PARDIES (Pau 1636-1673), jesuíta, publicó varias obras de geometría. Era profesor de matemáticas en París.

" probar por estas ondulaciones los efectos de la refle-
" xión y de la refracción".

Pero lo que es bien particular a Huyghens en el concepto fundamental de la ondulación — conocido por el nombre de "principio de Huyghens" — es que, si bien es verdad que cada punto del cuerpo luminoso comunica sus vibraciones a los puntos que lo rodean y éstos a los siguientes y que cada uno de todos estos puntos se vuelve a su vez un centro de ondas (ondas secundarias), éstas se destruyen entre sí en todos los puntos excepto algunos que forman círculos alrededor del punto de emisión inicial y son las ondas primarias u ondas de envoltura. Huyghens explica esto en los siguientes términos:

" Debe considerarse en la emanación de estas on-
" das que cada partícula de la materia, en la cual una
" onda se propaga, no debe comunicar su movimiento
" sólo a la partícula próxima que se encuentra en la
" línea recta trazada desde el punto luminoso, pero lo
" comunica también necesariamente a todas las otras
" partículas que la tocan y que se oponen a su movi-
" miento. De modo que es menester que alrededor de
" cada partícula se forme una onda de la que esta par-
" tícula es el centro. Así D C F es una onda (onda
" primaria) emanada de un punto luminoso A, que es
" su centro; una partícula B comprendida en la esfera
" D C F formará su onda particular K C L (onda se-
" cundaria) que tocará la onda primaria en un pun-
" to C al mismo momento que la onda primaria ha lle-
" gado en D C F; y es claro que no habrá más que el
" lugar C de la onda secundaria que tocará la onda
" primaria o sea el punto que se encuentra en la línea
" recta trazada de A a B. Lo mismo todas las partícu-
" las comprendidas en la esfera D C F (onda prima-
" ria), habrán originado cada una su onda. Pero cada
" una de estas ondas no puede ser sino infinitamente dé-
" bil con relación a la onda primaria a cuya composición
" todas las ondas secundarias contribuyen con la parte

" de su superficie más alejada del centro A". "Esto" — agrega Huyghens — "es lo que no era conocido por " los que, antes que yo, han empezado a considerar las " ondas de luz..."



No seguiremos citando al ilustre sabio por no alargar más este resumen y haremos notar que los trozos que acabamos de elegir en el "Tratado de la Luz" se encuentran todos en el primer capítulo de esa obra, capítulo que contiene la base de la hermosa teoría de las ondulaciones. Cuando tratemos de los trabajos de FRESNEL, tendremos ocasión de estudiar la victoria que, en 1815, tuvo esta teoría, sobre la hipótesis de la emisión, después de haber permanecido en el más injusto olvido durante más de un siglo y cuarto, a pesar de los trabajos de EULER (1746-1752), YOUNG (1801-1803) y WOLLASTON (1802).

Este no fué el único rasgo de genio que tuviera el ilustre físico, matemático y astrónomo holandés, en sus estu-

dios de óptica, pues sus leyes de la doble refracción no le valen menos gloria (1). Estudió este fenómeno no sólo en el espato calizo sino también en el cristal de roca tallado convenientemente y observó, en el transcurso de sus experimentos, la polarización, sin poder explicarla. Citaremos al respecto algunas frases del "Tratado de la luz", que indican la marcha seguida por Huyghens en el estudio de la doble refracción:

" Fué después de haber explicado la refracción de " los cuerpos transparentes ordinarios por medio de las " emanaciones esféricas de la luz que volví a exami- " nar la naturaleza de este cristal (el espato) donde " no había podido descubrir nada antes. Como había " dos refracciones distintas, pensé que había también " dos distintas emanaciones de ondas luminosas y que " una de ellas se propagaba en la materia etérea con- " tenida por el cristal. Esta materia, que se encuentra " en mucha mayor cantidad que las partículas del cuer- " po que la contienen, es la única capaz de causar la " transparencia. Atribuí a esta emanación de ondas la " refracción regular que se observa en esta piedra, su- " poniendo estas ondas de forma esférica, en general, " y de una propagación más lenta dentro del cristal " que afuera. En cuanto a la otra emanación que de- " bía producir la refracción irregular, quise averiguar " lo que harían ondas elípticas, o mejor dicho, esfe- " roidales; yo supuse que estas ondas se propagaban in- " diferentemente tanto en la materia etérea esparcida

---

(1) ERASMO BARTHOLIN (Roskild 1625-Copenhague 1698). Este médico danés, profesor de la Universidad de Copenhague, fué el primero en conocer y estudiar el espato calizo cristalizado y en observar que en sus cristales la luz se divide en dos rayos, uno que sigue la regla general de la refracción y el otro, móvil, que sigue otra dirección. Pero no pudo descubrir la ley de esta dirección que, es tan variable, que una simple observación haría creer que es arbitraria (1669). HUYGHENS llegó a descubrir esta ley no experimentalmente, sino guiado por su teoría de las ondulaciones. No debe confundirse a ERASMO BARTHOLIN con su hermano TOMAS (Copenhague 1616-1680), médico y célebre anatomista.

" en el cristal como en las partículas por las cuales es-
" tá compuesto... La doble emanación de ondas de luz,
" que había imaginado, se volvió más probable aún des-
" pués de haber observado cierto fenómeno en el cris-
" tal ordinario... Es que este cristal tiene una doble
" refracción tanto como el de Islandia, aunque me-
" nos evidente..."

Veamos ahora cómo Huyghens observó la polarización de la luz, al atravesar un cristal de espato de Islandia:

" Antes de terminar el tratado de este cristal, agre-
" garé todavía un fenómeno maravilloso que he descu-
" bierto después de haber escrito todo lo que precede.
" Pues a pesar de haber podido encontrar hasta
" ahora su causa, no puedo dejar de indicarlo, a fin de
" dar ocasión a otros de buscarla. Me parece que se
" necesitarían otras suposiciones además de las que he
" hecho, que no perderán por esto su posibilidad, pues
" han sido confirmadas por muchas pruebas. El fe-
" nómeno es que, tomando dos trozos de este cristal y
" aplicándolos uno contra otro, o teniéndolos con cier-
" to espacio entre los dos, si todos los lados de uno son
" paralelos a los del otro, un rayo de luz que se ha di-
" vidido en dos en el primer cristal, al pasar en el se-
" gundo, conserva cada rayo sin que se divida más en
" dos... Parece que el rayo, al pasar por el primer
" cristal, ha perdido lo que era necesario para emocio-
" nar la materia que servía para la refracción irregu-
" lar... pero hay otra cosa que destruye este razona-
" miento. Es que cuando se disponen los dos cristales
" de manera que los planos que hacen las secciones
" principales se cortan en ángulos rectos, sean o no
" paralelas las superficies que se encuentran cara a cara,
" entonces el rayo que ha venido de la refracción re-
" gular no hace más que una refracción irregular en el
" segundo cristal y, al contrario, el rayo que ha ve-
" nido de la refracción irregular no hace más que una
" refracción regular. Pero en todas las otras posicio-

" nes infinitas los rayos se hacen cuatro, sea de igual " claridad, sea de claridad menor los unos que los " otros, según el diverso encuentro de las posiciones de " los cristales, pero no parecen tener más luz juntos " que el rayo inicial solo..."

Termina Huyghens repitiendo que deja a otros la explicación de este fenómeno. Debemos esperar más de cien años, a MALUS en 1808, para volver a hablar de este "maravilloso fenómeno".

Huyghens fué el primero que realizara una verdadera comparación de la intensidad de dos fuentes luminosas y por eso su nombre encabeza el capítulo de la historia de las ciencias relativo a la fotometría, ya que no pueden ser tomadas en cuenta por la ciencia las simples comparaciones subjetivas de la intensidad luminosa a la cual se refieren escritores de todos los tiempos. Huyghens comparó la intensidad luminosa de Sirio con la del Sol por el siguiente procedimiento: Tomó dos caños de unos 30 centímetros de largo. En uno de ellos dispuso en cada extremo una tapa, abriendo en una un agujero de 1|6 mm. de diámetro insertando en la otra una bolita de vidrio de la misma dimensión. Con este tubo observó el Sol, del cual sólo recibía así $\frac{1}{27.664}$ de su iluminación y constató que esta parte de iluminación era igual en intensidad a la que recibía observando Sirio en conjunto con el otro tubo de aberturas libres. (1)

Poco después, en 1700, apareció el fotómetro de FRANZ MARIA que consistía en intercalar láminas de vidrio de determinado espesor entre la luz y el observador hasta la desaparición de la luz. Con BOUGUER y LAMBERT veremos nuevos progresos de la fotometría.

En óptica, debemos aún citar: su estudio teórico práctico del corte de las lentes (1660) y el de la disposición de los anteojos (1684), que aunque constituyera uno de los

(1) Esta operación se encuentra referida en el "Cosmotheoros", obra póstuma publicada en 1698. (Véase Hist. de la Physique" de HOPPE, pág. 401).

mayores progresos en la construcción de los anteojos astronómicos, perdió gran parte de su importancia, cuando los telescopios de reflexión vinieron a reemplazar, poco después, los de refracción; su participación al invento del micrómetro (1659); y en fin, sus ataques a la teoría de los colores de NEWTON, en que cometió el error de considerar que el azul y el amarillo bastan a la formación de la luz blanca (1672).

En mecánica (1) también, la obra de Huyghens ha sido inmensa y merece ser colocada al mismo nivel que las obras de GALILEO y de NEWTON. Se ocupó mucho del estudio del péndulo y, como GALILEO estableciera la teoría del péndulo ideal, Huyghens estableció la teoría del péndulo compuesto, resolviendo de un modo general el problema de la determinación de su centro de oscilación, estudiado por MERSENNE y DESCARTES, y descubriendo su reversibilidad. Huyghens estableció que un péndulo compuesto tiene el mismo movimiento de un péndulo matemático de longitud igual a la distancia entre el punto de suspensión y el punto de oscilación del péndulo físico, y dió para dicha distancia la fórmula siguiente:

$$l = \frac{\Sigma \; mr^2}{\Sigma \; mr.}$$

Agregó que el centro de oscilación y el punto de suspensión pueden ser invertidos, y esta afirmación fué aplicada por VAN BOHNENBERGER (1675-1831) y KATER (1818) en el péndulo de reversión. Además, al deducir así el estudio del movimiento del péndulo compuesto al de un péndulo matemático con sólo reducir la longitud del primero, Huyghens preparó el terreno para la eclosión del principio sobre el cual D'ALEMBERT había de fundar su mecánica, principio que establece el equilibrio de las fuerzas perdidas en un sistema solidario. Pero, entre Huyghens y D'ALEMBERT, figu-

(1) Véase "La Mécanique" de MACH, pág. 146-180.

ran los trabajos de L'HOPITAL, NEWTON y BERNOULLI en el mismo sentido.

Estudió el péndulo cicloïdal, del que aprovechó la independencia entre la amplitud de la oscilación y su duración, para los relojes, y el péndulo cónico, del que vemos una aplicación en el regulador de WATT.

Observó por primera vez que si dos péndulos en movimiento se colocan a corta distancia el uno del otro hacen concordar sus movimientos después de poco tiempo y esta observación de vibraciones o movimientos "simpáticos" había de ser de fundamental importancia en el estudio de la resonancia.

Hizo la observación, cuya utilidad pasó inadvertida durante más de un siglo, de que la longitud de un péndulo de tiempo determinado puede servir como tipo de comparación para las medidas de longitud; y expresó que esta longitud varía con la latitud del lugar, cuando se ocupó de la determinación de g por la observación del péndulo.

Huyghens estableció la fórmula de la fuerza centrífuga en el movimiento circular (1673):

$$f = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$$

y fué llevado a convencerse de que la Tierra no puede ser completamente esférica sino achatada en los polos, lo que demostraba haciendo girar rápidamente una bola de arcilla húmeda, que adquiría así la forma que se atribuye a la Tierra (1).

(1) JUAN RICHER (París 1630-1696). Este astrónomo francés fué mandado por la Academia de Ciencias en viaje de estudio a Cayena y aparte de sus observaciones astronómicas, hizo el importante descubrimiento de que el péndulo de segundo no tiene la misma longitud en todas las latitudes. Tuvo, en efecto, que acortar su péndulo de unos 2.5 milímetros en Cayena, pues atrasaba considerablemente, y al volver a París, como adelantara, tuvo que devolverle la misma longitud. Este hecho fué muy discutido y sólo admitido como exacto después que otros astrónomos hicieran observaciones idénticas en otros viajes. HUYGHENS y NEWTON encontraron en esta observación una confirmación de su creencia en el achatamiento del globo terrestre.

Es de observarse que el trabajo completo de Huyghens sobre fuerza centrífuga sólo fué publicado en 1703 y que NEWTON publicó su obra en 1687.

En su estudio del centro de oscilación del péndulo compuesto, Huyghens estableció el famoso "Teorema de las fuerzas vivas".

En su teoría de los choques (1668) llegó a establecer el principio de la conservación de la fuerza viva (1) que expresó con las siguientes palabras: "La suma de los productos de la masa de cada cuerpo duro por el cuadrado de su velocidad es siempre la misma antes y después del encuentro". Y esta noción de masa que era muy obscura antes de él, la definió como "número de partes iguales de cuerpos homogéneos".

Pero debemos observar que Huyghens fué anticipado por LEIBNITZ en el concepto de la fuerza viva y que conoció las ideas de LEIBNITZ al respecto.

Otro de los indiscutibles méritos de Huyghens es el de haberse opuesto siempre al concepto de la "acción a distancia", que NEWTON introdujo en la ciencia con su trascendental descubrimiento de la atracción universal y que siguió ejerciendo una perniciosa influencia hasta que FARADAY, en el siglo XIX, pudo destruirlo por completo.

Hemos dicho ya que WALLIS, Huyghens y WREN contestaron casi simultáneamente al llamado de la Sociedad Real de Londres, que pedía una teoría completa de los choques y que el primero estableció su teoría para los cuerpos no elásticos, mientras que los dos últimos se ocuparon de "cuerpos perfectamente elásticos" y establecieron que:

$$u = \frac{2\ m'\ v' + v\ (m - m')}{m + m'}$$

(1) El témino "fuerza viva" fué dado por LEIBNITZ al producto de la masa de un cuerpo por el cuadrado de su velocidad.

$$u' = \frac{2mv + v' (m' - m)}{m + m'}$$

fórmulas en que u y u' son las velocidades de los cuerpos después del choque, v y v' sus velocidades anteriores y m y m' sus masas. Estas fórmulas se deducen fácilmente del principio de conservación de la fuerza viva que daría en este caso:

$$m\,v^2 + m'\,v'^2 = m\,u^2 + m'\,u'^2 \quad (1)$$

y del principio de la conservación de la cantidad de movimiento que puede expresarse:

$$m\,v - m\,u = m'\,u' - m'\,v'$$

o como dijo Huyghens: "La cantidad de movimiento que tienen dos cuerpos puede aumentar o disminuir por su encuentro, pero queda siempre la misma cantidad hacia el mismo lado restando la cantidad de movimiento contrario".

La importancia de su perfeccionamiento del reloj nos da aquí la ocasión de recordar brevemente la historia de los aparatos de medida del tiempo:

La salida y la puesta del Sol y la marcha de los astros habrán hecho nacer en el hombre, por su continuidad y repetición, la noción de tiempo, y bien pronto éste habrá podido apreciar su medida por el simple aspecto del cielo, tanto de día como de noche, como lo hacen todavía los pastores y campesinos. Luego, sin duda, habrá observado que la sombra de los árboles varía en dirección y longitud con la posición del Sol y que dá por consiguiente indicaciones sobre el tiempo. De allí a inventar el cuadrante solar no hay mucha distancia y, aunque no se sepa exactamente a

(1) Recordará el lector que esto es solamente cierto para los cuerpos perfectamente elásticos, pus, en general, la energía cinética total disminuye.

quién atribuir este invento, es de suponer que los caldeos, que fueron los primeros en estudiar astronomía, hayan sido también los primeros en construir tan importante aparato para estos estudios y se atribuye generalmente a BEROSO (1), astrónomo caldeo, el invento del cuadrante solar semi-circular y la división del día en doce horas. Los primeros cuadrantes o simples gnomones fueron conocidos en Egipto poco después que en Caldea y pronto se generalizaron y pasaron a Grecia y a Roma. Poco después de estos aparatos, los antiguos concibieron las clepsidras o relojes de agua de los cuales los más sencillos consistían en una especie de embudo que, lleno de agua, demoraba un día en vaciarse y que llevaba en su borde la graduación de las doce horas. El inventor y la fecha de invención de estos relojes son desconocidos, pues no podemos creer en VITRUVIO cuando los atribuye a CTESIBIO, ya que eran conocidos por los caldeos, egipcios y chinos, muy anteriormente. Lo cierto es que el célebre mecánico egipcio perfeccionó estos rudimentarios aparatos y construyó verdaderos relojes hidráulicos con rodajes accionados por el agua, cuyo uso se perpetuó en Europa hasta fines de la Edad Media. Debe recordarse también entre los primeros medidores del tiempo, los relojes de arena o ampolletas que empleaban los griegos y que aún se conocen y utilizan para usos domésticos; los relojes de aceite y de mercurio, que no son más que variaciones más o menos ingeniosas de las clepsidras, y las velas graduadas que indicaban la hora por el consumo de la cera. El origen de los relojes puramente mecánicos, precursores de los actuales, no se puede determinar con exactitud, pero se remonta probablemente al siglo XII o al XIII. Pronto su uso se generalizó en Italia, Francia, Alemania e Inglaterra y es así que, en 1288, la Galería de Westminster de Londres y poco después el Palais de París y las grandes iglesias de casi toda Europa, ostentaron grandes relojes de campanas. En el siglo XV, se construían relojes de pesas cuyo movimiento era regulado

(1) BEROSO, sacerdote de Belo, en Babilonia, durante el reinado de Antioco Soter (siglo III antes de J. C.), fué historiador y astrónomo.

por una rueda con paletas en que la resistencia del aire retardaba la aceleración. Más tarde, cuando se inventó la rueda de escape, se aplicó un volante que permitía construir relojes algo más exactos, pero cuyos inmensos rodajes sufrían demasiado las influencias exteriores. La primera idea de aplicación del péndulo al reloj se debe hasta cierto punto a GALILEO que, conocedor de todos los defectos de los relojes de su época, empleó a veces el péndulo como medidor de tiempo en sus estudios de física y de astronomía y le aplicó un contador de oscilaciones. En los albores del siglo XVI, probablemente, empezaron a conocerse relojes de bolsillo y a reemplazarse las pesas como fuente de energía por un resorte metálico. Los primeros de estos relojes parece que fueron construídos en Nuremberg y merecieron el nombre de "huevos vivos de Nuremberg" por su forma ovalada.

He aquí, pues, en qué estado de adelanto se encontraba la relojería cuando Huyghens fué llevado por sus estudios a ocuparse de esta industria. En 1656, concibio su idea de la aplicación del péndulo al reloj y dos años más tarde presentó a los Estados Generales de Holanda un modelo de este aparato y un opúsculo, en que describía todos los detalles del invento. La influencia de este trabajo fué enorme y enorme también la fama que reportó al sabio holandés. Algunos autores pretenden discutir a Huyghens la prioridad de este notable invento, pero sus argumentos carecen de valor y puede afirmarse que el célebre sabio holandés fué el verdadero inventor del reloj de péndulo.

En 1673, publicó su célebre obra "Relojes Oscilatorios" y describió en ella un cambio a su invento anterior, cambio que consistiría en hacer recorrer una cicloide por el péndulo, en vez de un arco de círculo, para que su movimiento sea completamente isócrono, aunque su amplitud de oscilación varíe.

Este nuevo dispositivo no aportó ventajas palpables y fué abandonado para volver al empleo de su invento anterior en que se llegó a perfeccionar de tal modo el esca-

pe, que las oscilaciones adquirieron una amplitud constante y eran por lo tanto absolutamente isócronas

Huyghens se ocupó también del perfeccionamiento de los relojes de bolsillo y, en 1665, describió en una revista científica francesa un modelo en que había introducido un muelle de espiral unido al volante regulador. Unos ocho años antes, HOOKE había ya expresado la misma idea en Inglaterra y se había propuesto realizarla, pero una discusión que se levantó entre él y sus socios en esta empresa le obligaron a abandonar su proyecto y a mantener en secreto su invento. HOOKE se consideró también como el inventor del escape de áncora, pero parece más probable que este perfeccionamiento se deba a su contemporáneo y compatriota, el relojero GUILLERMO CLEMENT.

Desde esa época, la relojería se ha perfeccionado, sobre todo en sus detalles, para llegar a un mayor grado de exactitud y en el curso de nuestro estudio histórico veremos todavía hábiles mecánicos aportar a esta industria importantes modificaciones; y, desde luego, citaremos a GRAHAM, el inventor del compensador de mercurio y del escape de cilindro; a HARRISON, inventor del regulador de varillas y del cronómetro, y a ABRAHAM BREGUET, su hijo LUIS y su nieto ANTONIO, que ayudaron a los sabios de su tiempo por la precisión de los aparatos que construían.

También intervino Huyghens en el perfeccionamiento de la máquina neumática a la cual agregó la campana móvil, recipiente para el vacío, campana que colocaba sobre una cubeta. Huyghens propuso este perfeccionamiento después de haber visto en Londres la máquina neumática de BOYLE en el año 1661.

Como otro invento mecánico de Huyghens, debemos recordar su "máquina de pólvora" que puede ser considerada como el primer "motor de explosión" y que consistía en lo siguiente: Se encendía pólvora en el interior de un cilindro de hierro en el cual se movía un émbolo. La

explosión impulsaba el émbolo que volvía luego a su lugar empujado por la presión atmosférica cuando se reducía la tensión interior por precipitación de los gases. Esta máquina permitía, según Huyghens, "tener siempre a su disposición un importante motor que no necesita gasto alguno de manutención, tal como hombres y caballos". Veremos, más adelante, cómo PAPIN supo aprovechar esta idea de Huyghens adaptando a la máquina de pólvora el vapor.

Debemos en fin recordar que Huyghens ejerció también una gran influencia sobre la evolución de la teoría atómica que — bien lo sabemos — había sido detenida por la influencia de ARISTOTELES. A principio del siglo XVII, LUBIN (1565-1631) y BASSO ("Filosofía adversa a Aristóteles", 1621) emitieron ideas favorables al atomismo explicando con cierta claridad lo que es el átomo, partícula tan pequeña que se necesitan varias de ellas para constituir, debido a sus distintas agrupaciones, corpúsculos también invisibles que constituyen los elementos más pequeños de las distintas sustancias. Huyghens no se preocupó del aspecto atómico de la constitución química de los cuerpos, pero amplió el concepto atómico del éter, considerando la luz como la vibración de los átomos del éter, y la gravitación como su rotación. Expresó sin embargo su convicción de que cada cuerpo simple tenía átomos distintos, mientras que BOYLE creía que el átomo era la partícula mínima del elemento único de todos los cuerpos.

Este breve resumen de la obra de Huyghens nos permite afirmar — como lo hace MACH — que: "Entre los
" sucesores de Galileo se debe considerar a Huyghens
" como su igual desde todo punto de vista. Si dentro
" de mil años su nombre está aún presente en la memoria
" de los hombres, se reconocerá siempre su grandeza
" intelectual y moral" (1).

(1) "La Mécanique" de MACH, pág. 147.

En efecto, Huyghens hizo una obra grande y sincera, expuso con franqueza y sencillez sus descubrimientos, no ocultó lo que escapaba a su entendimiento y si fué, sin duda, menos filósofo que GALILEO, fué más preciso, más matemático.

WREN
(1632-1723)

Su teoría de los choques.

CRISTOBAL WREN, más conocido como arquitecto que como matemático y astrónomo, nació en East-Knoyle, en el condado de Wilts (Inglaterra), en 1632 y murió en Londres en 1723.

En geometría, determinó el centro de gravedad de la cicloide en un interesante estudio que le valió, en 1660, una cátedra de matemáticas en la Universidad de Oxford y, en 1663, el título de individuo de la Sociedad Real de Londres.

Se ocupó mucho de mecánica y de física, y ya hemos visto que enunció al mismo tiempo que HUYGHENS y WALLIS (1) una teoría de los choques en muchos puntos concordante con la que establecieran dichos sabios. Pero Wren limitó su estudio a la observación experimental del choque central elástico y llegó así a establecer teoremas cuya síntesis se encuentra en la fórmula:

$$C = \frac{M. V + m. v. - m (V-v)}{M + m}$$

siendo C la velocidad de M después del choque.

En astronomía estuvo a punto de seguir el camino que llevó a NEWTON a descubrir la teoría de la gravitación

(1) Véanse biografías de WALLIS y de HUYGHENS.

universal, pues trató, al mismo tiempo que éste, de encontrar cuales eran los dos movimientos cuya resultante dirigía los planetas en su revolución alrededor del Sol y creía entrever que uno de ellos era un choque y el otro una fuerza ejercida por el Sol.

En 1668, fué nombrado arquitecto de la ciudad de Londres y desde esa época se preocupó especialmente de la construcción de monumentos grandiosos entre los cuales se cuentan la Basílica de San Pablo, el Monumento, la Bolsa, la Aduana, una parte del Palacio de Westminster, el Palacio de Winchester, el observatorio de Greenwich, el teatro de Oxford y muchos otros.

HOOKE
(1635-1702)

El muelle de espiral. Una máquina de volar. Los puntos fijos termométricos. Micrografía. Barómetro de cuadrante. Velocidad del sonido en los sólidos. Anillos coloreados. Teoría de las ondulaciones transversales. Nivel de alcohol. Anemómetro acústico. Telescopio. Atracción Universal. Telégrafo de señales. Elasticidad.

ROBERTO HOOKE nació en Freshwater, en la isla de Wight, en 1635 y murió en Londres en 1702.

Su padre, que era pastor protestante y muy pobre, lo preparaba para el estado eclesiástico, pero la precaria salud de este niño débil y contrahecho, le impidió realizar sus planes. Buscó entonces en dirigirlo hacia un oficio, como el de pintor o de relojero, en que pudiera hacer valer su viva inteligencia sin sufrir mayores inconvenientes por su falta de fuerza física, pero fué en vano, Roberto había decidido estudiar y soñaba con todo un glorioso porvenir de sabio.

Entró en la escuela de Westminster donde se hizo notar por sus aptitudes excepcionales y, a los 18 años, ingresó en la Universidad de Oxford, de donde salió, pronto para

su carrera científica. Fué ayudante del químico WILLIS y de BOYLE a quien ayudó en el perfeccionamiento de la máquina neumática (1658). En 1663, fué hecho miembro de la Sociedad Real de Londres, de la que fué nombrado Secretario perpetuo al año siguiente.

Realizó una intensa labor científica con singular entusiasmo, durante más de cincuenta años, pues la inició siendo casi niño y no descansó hasta la hora de su muerte.

Hooke no era un genio y no puede ser comparado con sus ilustres contemporáneos, NEWTON, HUYGHENS y LEIBNITZ, pero era un espíritu vivo, sumamente práctico e inventivo y, con conocimientos amplios y aunque a veces superficiales, ha sabido dejar huellas en todos los capítulos de la física, ya por algún perfeccionamiento, alguna disposición nueva, ya por algún invento oportuno.

Era un verdadero inglés en su método y en sus ideas y por lo tanto gozó de inmensa fama entre sus compatriotas. Pero poseía un caracter mezquino y orgulloso, que lo llevó a interminables querellas, en que siempre negaba a los sabios de su tiempo, sus derechos a las ideas e inventos que presentaran, queriendo atribuírselos todos a sí mismo.

Uno de sus primeros inventos fué en 1657, el del muelle de espiral (véase HUYGHENS), del que no pudo sacar provecho por haber tenido discusiones con sus socios BOYLE, MORAY y LORD BROUNCKER, y que mantuvo secreto sin sacar patente. Es así que HUYGHENS, que llegó a hacer el mismo invento pocos años después, debe haber ignorado lo realizado por el físico inglés, lo que no impidió a éste, dado su carácter, de acusarlo de plagio.

En la historia de la aviación el nombre de Hooke, merece ser recordado porque ensayó, en 1660, máquinas para elevarse en el aire por medio de veletas horizontales opuestas al viento.

En 1664, simultáneamente con la Academia del Cimento, observó que el punto de fusión del hielo es fijo y podría servir de base para una escala termométrica, y, se-

gún BREWSTER, en 1684, hizo idéntica observación con el punto de ebullición del agua (1).

En 1665, construyó una linterna mágica fija, alumbrada indistintamente por la luz solar o la luz artificial. En ese mismo año publicó el primer trabajo importante sobre micrografía en que se encuentran además, la descripción del famoso barómetro de cuadrante que lleva su nombre pero que no es más que un perfeccionamiento del barómetro de GUERICKE, y el relato de los primeros experimentos que demuestran la mayor velocidad de propagación del sonido en los metales que en el aire, experimentos que sugirieron a Hooke el invento del teléfono de hilos, como el que usan los niños y que construyen con dos cajas y un hilo bien tirante.

Está relacionada con la acústica también, su interesante observación de que ruedas dentadas que giran con gran velocidad producen un sonido que varía según esa velocidad. Esta observación fué recogida por el italiano STANCARI, quien empleó ruedas dentadas para determinar las frecuencias de los sonidos.

A esa época también se deben sus primeros estudios de los "anillos coloreados" que tanto interesaron después a NEWTON y provocaron entre éste y Hooke una larga disputa en el seno de la Sociedad Real. Es que Hooke, después de haber observado este fenómeno en las hojas de mica y al comprimir uno contra otro dos prismas de vidrio, llegó en 1672 a enunciar, aunque sin establecerlo, un gran principio de la teoría moderna de la luz, principio que se oponía directamente a la teoría de la emisión defendida por NEWTON. Dijo en efecto:

> "La luz es producida por vibraciones de un medio
> " sutil y homogéneo y este movimiento se propaga por
> " impulsiones u olas sencillas y de forma constante
> "*perpendiculares a la línea de propagación*".

(1) Si no se admitiera esta afirmación de BREWSTER, debería atribuirse este descubrimiento a RENALDINI en 1694. (Véase POGGENDORFF. Histoire de la Physique, pág. 310).

Estas últimas palabras prueban que Hooke se adelantó más aún que HUYGHENS en la teoría de las ondulaciones proponiendo la hipótesis de las ondas transversales que FRESNEL debía establecer en pleno siglo XIX. Su mérito no es, sin embargo, tan grande como podría hacerlo creer tan maravilloso acierto, pues no demostró científicamente esta afirmación, y bien al contrario, la negó él mismo, pocos años después.

En 1661, inventó el nivel de alcohol, el micrómetro y el nonio, pero estos dos últimos aparatos ya se conocían en el continente sin que él lo supiera.

En 1668, construyó un anemómetro en que se medía la intensidad del viento por medio del sonido que produce al pasar por silbatos, parecido al anemómetro presentado el año anterior por su compatriota y colega de la Sociedad Real, CROUNE.

En 1672, atacó la teoría de los colores de NEWTON pretendiendo, como lo hiciera HUYGHENS, que dos colores bastan para la composición de la luz blanca y estos colores eran, según él, el rojo y el violado.

En 1674, construyó el primer telescopio de reflexión siguiendo las indicaciones dejadas por GREGORY.

En el mismo año publicó un folleto titulado: "Una tentativa para probar el movimiento de la Tierra" cuyas conclusiones se acercan mucho a la teoría de la gravitación, pero sin enunciarla.

Hooke ha sido indiscutiblemente el precursor de su rival NEWTON, en varias ideas y sobre todo en la atracción universal. Como lo veremos más adelante, el gran genio inglés cuya influencia se ha hecho sentir, como la de DESCARTES, sobre todas las ciencias en el siglo XVIII, no podía deshacerse de una vanidad y una envidia indignas de la altura de su espíritu, y es así que en sus numerosas disputas con el no menos quisquilloso Hooke, NEWTON se mostró demasiado severo y a veces injusto.

En el folleto que acabamos de citar, Hooke explicaba así su concepto del sistema cosmogónico:

" Expondré un sistema del mundo que difiere en
" muchos puntos de todos los que son hasta ahora
" conocidos y que es, en todo, conforme a las leyes
" ordinarias de la mecánica. Está basado en tres su-
" posiciones: La primera es que todos los cuerpos ce-
" lestes, sin excepción, ejercen un poder de atracción
" o de pesantez dirigido hacia su centro y en virtud
" del cual, no solamente retienen sus propias partes
" y les impiden escaparse al espacio, como vemos
" que lo hace la Tierra, pero además atraen también
" todos los otros cuerpos celestes que se encuentran
" en la esfera de su actividad. De esto se deduce, por
" ejemplo, que no solamente el Sol y la Luna tienen
" acción sobre la marcha y el movimiento de la Tie-
" rra, como la Tierra la tiene también sobre ellos, pe-
" ro que Venus, Mercurio, Marte, Júpiter y Saturno
" tienen también, por su poder atractivo, considera-
" ble influencia sobre el movimiento de la Tierra, lo
" mismo que la Tierra influye poderosamente sobre los
" movimientos de estos cuerpos. La segunda suposi-
" ción es que todos los cuerpos una vez puestos en mo-
" vimiento uniforme y rectilíneo, persisten en mover-
" se así indefinidamente en línea recta hasta que otras
" fuerzas vengan a desviar su camino hacia un círculo,
" una elipse o cualquier otra curva más compuesta.
" La tercera suposición es que los poderes atractivos
" se ejercen con más energía a medida que los cuer-
" pos sobre los que accionan se acercan más del cen-
" tro de donde emanan. Ahora bien, ¿cuáles son los
" grados sucesivos de este crecimiento para distancias
" diversas? Esto es lo que no he determinado aún por
" experiencia... pero yo me atrevo a prometer a
" aquél que tuviera éxito en esta empresa, que encon-
" trará en este principio la causa determinante de los
" más grandes movimientos que el universo nos ofrece
" y que su desarrollo completo será la verdadera per-
" fección de la astronomía".

Este trozo tiene un indudable valor científico y más aún histórico, pues prueba que Hooke tenía ideas muy claras acerca de la atracción universal y de la importancia de esta teoría sobre el progreso de la astronomía. Es curioso citar después, este pasaje de una carta que NEWTON escribió a HALLEY:

> " Hooke no ha hecho nada y sin embargo se ha
> " expresado como si todo lo supiera, todo lo hubiera
> " profundizado con excepción de lo que exigía la fas-
> " tidiosa molestia de las observaciones y de los
> " cálculos, disculpándose de estos trabajos con el pre-
> " texto de tener otras importantes ocupaciones. ¿No
> " es esta una treta admirable? ¡Pobres matemáticos que
> " descubren las verdades, las desarrollan y las es-
> " tablecen! Deberán contentarse con ser considerados
> " como calculadores áridos y simples ayudantes; mien-
> " tras que otro que no hace nada sino formar preten-
> " siones sobre todas las cosas y se entremete en todo
> " lo que se hace, se atribuirá exclusivamente todo lo
> " que es invención tanto de los que lo siguen como
> " de los que lo han precedido".

NEWTON fué quien estableció definitivamente la atracción universal y su ley del cuadrado de la distancia, gracias a una magnífica demostración matemática basada en su teoría de las fluxiones, pero no es ésta razón suficiente para despreciar en tal forma a los que fomentaron la idea inicial de la teoría — (y fueron varios, como lo veremos más adelante).

En 1684, Hooke inventó el primer telégrafo de señales en que, como en el que CHAPPE puso en uso más de un siglo más tarde, se comunicaban las letras del mensaje por señales determinadas. Hooke no se servía en este caso de banderas o brazos articulados sino de cuerpos opacos, de formas particulares fácilmente distinguibles a gran distancia, que se elevaban sucesivamente a lo alto de un marco elevado y que correspondían a las letras del alfabeto o frases determinadas.

A pesar de que LEONARDO DE VINCI al inventar el dinamómetro de resorte realizara observaciones sobre elasticidad, debe considerarse a Hooke como el primero que estudiara científicamente este fenómeno. Distinguió con claridad la elasticidad de tracción, de flexión y de compresión, y estableció dos leyes fundamentales:

1º La fuerza elástica es proporcional a la deformación.

2º La fuerza elástica es la misma cualquiera sea el sentido en que se aplique la fuerza de deformación. (Es así que la elasticidad de presión es igual a la elasticidad de tracción).

Digamos aún que se le debe la primera idea de la cámara clara que WOLLASTON realizó en 1804; y que inventó un areómetro de volumen constante (1677) y un termómetro de mínima (1691).

No pretendemos haber citado todos los inventos realizados por este incansable e ingenioso físico, pero lo suficiente para dar una idea de su ardua labor.

Digamos, en fin, que si Hooke no llegó a dejar su nombre a algunas de las grandes teorías científicas que su maravillosa imaginación le hizo entrever, fué principalmente por carecer de preparación matemática suficiente.

GREGORY
(1638-1675)

El telescopio de reflexión.

El matemático y astrónomo JAIME GREGORY era escocés; nació en Aberdeen en 1638 y murió en Edimburgo (1675) a los treinta y siete años. Hijo de un pastor protestante y descendiendo por su madre de una familia de matemáticos, Gregory brilló desde muy joven en sus estudios.

En 1661, joven de apenas veintitrés años, concretó su idea del telescopio, que describió completamente dos años más tarde en su obra "Optica Promota". Este aparato se componía de un tubo en cuyo fondo se colocaba un espejo parabólico, cuya imagen de los objetos lejanos era interceptada por un espejo elíptico, más pequeño y movible. El foco de éste se encontraba un poco más lejos que el del espejo parabólico y producía así una imagen derecha, que se observaba con una lente colocada en un agujero practicado en medio del espejo parabólico.

Convencido del valor de su invento, aunque no conociera la aberración de refrangibilidad de las lentes y sólo sabía que corregía la aberración de esfericidad de los anteojos de refracción, fuése a Londres, hacia 1665, pero no consiguió que se le construyera el telescopio a pesar de la ayuda de los mejores talladores de vidrio que el geómetra COLLINS (1) le había buscado. Esta desilusión lo indujo sin duda a cambiar de ambiente y se fué a Italia, donde profundizó sus estudios de matemática.

En 1667, en Padua, publicó una obra sobre la cuadratura del círculo y la hipérbola que lo hizo conocer favorablemente en el mundo matemático y le provocó una viva discusión con HUYGHENS, discusión que le fué beneficiosa, pues lo obligó a perfeccionar el método analítico que había establecido en esta obra.

A su vuelta a Inglaterra, a principios de 1668, fué elegido miembro de la Sociedad Real y, al año siguiente, fué nombrado profesor de matemáticas de la Universidad de Edimburgo, donde publicó varios importantes trabajos de geometría.

En 1675, mientras examinaba el cielo con el telescopio que al fin había construído, perdió completamente la vista y a los pocos días expiró.

Gregory fué un sabio verdadero y sincero. Enemigo de los honores inméritos, su modestia llegó al punto de ha-

(1) JUAN COLLINS (1625-1683), matemático inglés, miembro de la Sociedad Real de Londres.

cerle rehusar, en 1671, la pensión que la Academia de París había pedido para él, al rey Luis XIV, por no considerarse digno de ella.

Su invento del telescopio marca una fecha importante en la historia de la astronomía. Este instrumento fué muy poco transformado y los tipos de NEWTON, HERSCHEL, CASSEGRAIN, que son los que se usan más en nuestros días, no se diferencian en principio del original. NEWTON prefirió colocar el ocular en el costado del tubo (en vez de perforar el espejo parabólico) y hacer reflejar la imagen de éste por un pequeño espejo plano inclinado o por un prisma. HERSCHEL suprimió completamente el pequeño espejo segundo reflector, e inclinó el espejo cóncavo para observarlo directamente por medio del ocular colocado, como en el telescopio de NEWTON, en el borde del tubo. El modelo imaginado por CASSEGRAIN (1) difiere del de Gregory sólo por la forma de los espejos: el de primera reflexión es esférico y el espejo chico es convexo.

Debe recordarse aquí que, según algunos historiadores, el invento del telescopio de reflexión sería anterior al del del anteojo de refracción. Algunos atribuirían ese invento a los árabes, otros a DIGGS, en 1571. Otros historiadores, aunque lo consideren posterior al anteojo de refracción, hacen valer los derechos del padre ZUCCHI quién, en 1616, hizo observaciones por medio de espejos metálicos cóncavos, cuya imágen examinaba con una lente, pero sin inventar ningún dispositivo para que el observador no obstaculice la marcha de los rayos. MERSENNE también debe ser recordado como precursor de Gregory, como lo hemos dicho anteriormente.

---

(1) CASSEGRAIN. Astrónomo francés, describió este telescopio en 1673 en Francia, pero lo había inventado en 1670, un año antes que NEWTON. La modificación que aportó al aparato de GREGORY permite acortar considerablemente el tubo y obtener una imagen más clara. En 1672, Cassegrain dió al portavoz de MORELAND (1671) la forma de una hipérbola equilátera.

NEWTON
(1642-1727)

Su método. Su mecánica: la ley de Atracción Universal. Ley de acción y reacción. Conceptos fundamentales de mecánica. Influencia del medio sobre el movimiento. Fuerzas centrífuga y centrípeta. Densidad de la Tierra. Su óptica: Descomposición de la luz. Aberración cromática y aberración esférica. Telescopio. Arco iris. Teoría de los colores. Anillos coloreados. Teoría de las emisiones. Eter. Otros fenómenos ópticos. Velocidad del sonido. El calor. El primer pirómetro. Ley del enfriamiento.

Con ISAAC NEWTON volvemos a encontrar uno de aquellos grandes genios que hacen evolucionar la ciencia con tanta rapidez, que el simple observador de una época determinada cree asistir a una verdadera revolución. Es que, después de una época de calma en que la humanidad cree haber alcanzado la cumbre de la ciencia, si un genio descubre horizontes nuevos, se empieza a dudar del saber inmediatamente anterior, se cree que una ciencia nueva aparece y que la antigua se derrumba. Sin embargo, si se retrocede algunos siglos, se descubre el germen de las ideas nuevas, y, a lo largo de los tiempos, se ven las ideas y los descubrimientos encadenarse unos a otros, tal vez desde los antiguos filósofos hasta la "idea revolucionaria", que no determina sino un grado más de la evolución del saber humano. GALILEO, NEWTON y sobre todo DESCARTES han sido considerados como autores de supuestas revoluciones científicas, pero volveremos a ver que NEWTON, como los otros, tuvo sus precursores y que su obra genial consiste, como la de los otros, en haber hecho madurar ideas cuya lenta germinación puede a veces seguirse a través de muchos siglos.

Isaac Newton nació en Woolsthorpe, pueblito del condado de Lincoln, el 25 de Diciembre de 1642 (calendario antiguo. 5 de Enero de 1643, calendario moderno) y mu-

rió en Kensington, cerca de Londres en 1727. Fué un niño de delicada salud y, como KEPLERO, nació antes de término, lo que hizo prever una vida corta e inútil, todo lo contrario de lo que fué esa larga vida de ochenta y cinco años, enteramente dedicada al estudio y sumamente bienhechora para la humanidad.



NEWTON

Su padre murió antes de verlo nacer y su madre, que volvió a casarse a los pocos años, confió la educación del niño a su abuela. A los doce años ingresó en un colegio de Grantham, pequeña ciudad vecina a su pueblo nativo, y demostró por su carácter pensativo y estudioso y su gran habilidad para construir toda clase de máquinas, tener una extraordinaria disposición para la gloriosa carrera de pensador y experimentador que lo esperaba. Esta época de la vida del sabio ha sido sin duda la más feliz, la única quizá en que sintió la alegría de vivir.

En la pequeña ciudad, tenía un amigo, el farmacéutico Clark, que se interesaba en sus estudios y le procuraba libros. Por su intermedio, Newton conoció a miss Storay, que fué su primer amor, amor no correspondido cuyo amargo recuerdo fué causa de su vida solitaria.

Tenía catorce años cuando su madre enviudó por segunda vez, y lo llamó a su lado con la esperanza de interesarlo en la administración de una pequeña granja que poseía. Desilusionada por la poca aptitud de su hijo para este trabajo y aconsejada por su hermano que era pastor protestante, decidió que Newton continuara sus estudios y lo envió, en 1660, al Colegio Trinidad de la Universidad de Cambridge. El joven conquistó fácilmente los títulos de bachiller y maestro en artes y se hizo amigo del profesor BARROW (1) que, en 1669, renunció su cátedra en su favor. Es en Cambridge y antes de empezar a profesar, que Newton concibió sus principales ideas, descubrió el famoso binomio que lleva su nombre e imaginó el método de las fluxiones.

En 1666, abandonó momentáneamente Cambridge, a causa de una epidemia de peste, y fué a su propiedad de

---

(1) ISAAC BARROW, matemático, físico y teólogo inglés (Londres 1630-1678). Recibió el título de Doctor en la Universidad de Cambridge donde enseñó matemáticas desde 1653. En 1670 publicó sus "Lecciones de Geometría" en que se encuentra la explicación de un método para la determinación de las tangentes. El año antes (1669), convencido por las insistencias de su discípulo NEWTON, encargó a éste de la publicación de sus "Lecciones de Optica". En esta obra se enuncia el principio según el cual "la imagen de un objeto es el lugar de los puntos de encuentro de los rayos reflejados por el objeto" y se determina, por primera vez, de un modo general, la posición de los focos de las lentes para rayos paralelos y divergentes. Merece citarse también, más desde el punto de vista histórico que científico, una curiosa teoría de los colores esbozada en la misma obra en los siguientes términos:

"Los cuerpos blancos son aquellos que envían una luz igualmente "intensa, en todas direcciones; los cuerpos negros son los que no "envían luz o que envían muy poca; los cuerpos rojos son los que "emiten una luz más intensa que de costumbre pero interrumpida "por intersticios obscuros; los cuerpos azules son los que envían "una luz rarificada o que estan compuestos de moléculas blancas y "negras alternando las unas con las otras; los cuerpos verdes se pa- "recen en su composición a los cuerpos azules; el amarillo es la "mezcla de mucho blanco y un poco de rojo; el púrpura resulta de "una gran cantidad de azul mezclada con una pequeña cantidad de

Woolsthorpe donde tuvo que interrumpir sus experimentos por falta de laboratorio, pero se entregó a meditaciones sobre el sistema de los mundos y, según la leyenda, fué allí que, al ver una manzana caer de un árbol, pensó en la influencia de la atracción en los movimientos celestes. Aun si esta simple fábula tuviera algo de verdad (aunque el ejemplo de la manzana figura también en las obras de KEPLERO que Newton conocía perfectamente), el hecho casual de la manzana sólo podría haber sido causa de recordar que la gravedad era un problema de "actualidad" ya que hemos visto, por afirmaciones de varios sabios, que la hipótesis de la gravitación universal estaba en aquel momento "a punto de nacer".

Entre 1666 y 1670, Newton explicó su teoría de la composición de la luz blanca y completó la teoría del arco iris establecida por DESCARTES.

Al año siguiente, construyó el telescopio de que hemos hablado anteriormente y que le valió el honor de ser elegido como individuo de la Sociedad Real.

Fué profesor de la Universidad de Cambridge, ejemplar por su absoluta dedicación, el entusiasmo con que defendía los intereses del establecimiento, aun cuando éste fué atacado en sus reglamentos por el rey Jacobo II. Sus colegas le manifestaron su reconocimiento ofreciéndole, en 1688, la representación de la Universidad en el Parlamento, pero su actuación parlamentaria fué de una nulidad absoluta y

---

" rojo. El color azul del mar proviene de la blancura de la sal que
" contiene, mezclada con la negrura del agua pura, en la cual la sal
" se encuentra disuelta. El color azul de las sombras de los cuerpos
" vistos al mismo tiempo con una vela y el resplandor del crepúsculo
" proviene de la mezcla de la blancura del papel con la débil luz
" crepuscular."

¡Qué lejos estaba BARROW todavía, y el mismo NEWTON, de la teoría de los colores que éste emitiera muy poco tiempo después! En 1669, BARROW renunció a su cátedra a favor de su discípulo preferido y se dedicó especialmente a la teología, de la que publicó muchas obras que le dieron más fama entre sus contemporáneos, que sus obras científicas muy superiores. En 1670, fué nombrado Capellán del rey Carlos II y, cinco años más tarde, Canciller de la Universidad de Cambridge. Fué en el curso de un viaje que realizaba a Londres, por asuntos de esa Universidad, que encontró la muerte.

es conocida la anécdota según la cual, la única vez que el sabio hizo oir su voz en el curso de una asamblea, fué... para pedir a un ugier que cerrara una ventana.

En 1695, su amigo Montague, futuro Lord Halifax, lo hizo nombrar inspector de la Casa de la Moneda, y en 1699, ascendió a la dirección de la misma institución, debiendo renunciar a su cátedra en la Universidad por incompatibilidad entre los puestos. Su sucesor en Cambridge fué GUILLERMO WHISTON, que lo reemplazó recién en 1703, después de su segunda representación en el Parlamento, y que es autor de muchas fábulas que circulan acerca de Newton. En ese año, Newton fué hecho Caballero por la reina Ana de Inglaterra y elegido presidente de la Sociedad Real de Londres, puesto en que fué confirmado, por elecciones sucesivas, hasta el fin de su vida.

En los primeros meses de 1727, agobiado desde varios años por grandes sufrimientos, que soportó con extraordinaria resignación, sucumbió a un ataque de piedra.

El carácter de Newton ha sido y es aún muy discutido, pues sus contemporáneos emitieron al respecto opiniones completamente opuestas. Los unos le encontraban todas las cualidades a las que puede aspirar el mejor, el más modesto y el más honesto de los hombres, y otros, con una exageración quizá no menor que la de sus admiradores o aduladores, le atribuían todos los defectos, sino los vicios. Newton era soltero y, desde la desilusión de sus primeros amores, parece haber vivido alejado de toda relación femenina. Era tímido,abrumado quizás por las constantes alabanzas de los más grandes hombres de su tiempo y las bajas adulonerías de los obscuros aspirantes a la gloria; era distraído al exceso, como lo fueron muchos grandes hombres cuyas preocupaciones científicas absorbían sin cesar su espíritu. Llevaba vida retraída, honesta y exenta de agitaciones, acompañado hasta el momento de su muerte por su hermosa sobrina, Catalina Barton, más tarde de Conduit, a quien VOLTAIRE atribuía, con cruel ironía, una influencia inmensa en los gloriosos éxitos del sabio, basándose en el hecho de que Lord Halifax, protector y amigo de Newton,

había tenido amores con la señorita Barton y le dejó en herencia la mayor parte de su fortuna.

Newton, alabado y glorificado hasta el exceso, llegó indudablemente a ser ambicioso, desdeñoso y hasta cruel y deshonesto para los que se atrevían a discutir sus opiniones. FLAMSTEED (1), el director del Observatorio de Greenwich, tenía sin duda razón cuando escribía: "Newton me ha parecido siempre insidioso, ambicioso, excesivamente ávido de alabanzas y soportando siempre mal la contradicción". Ha sido más moderado en el lenguaje y menos exagerado, sin duda, que WHISTON, que decía no haberse atrevido nunca a levantar refutaciones contra su cronología, pues "hubiera temido que me matara"!

En las tres grandes teorías de Newton, la atracción universal, el cálculo infinitesimal y la emisión, ha tenido precursores o contradictores, que ha desdeñado o tratado con poca honestidad y entre estos últimos figuran los nombres de HOOKE, LEIBNITZ y HUYGHENS.

La influencia de Newton se ha hecho sentir en astronomía y en matemáticas, pero nos ocuparemos especialmente aquí de los progresos que ha sabido aportar a la mecánica y a la óptica, que, hasta esa época, parecen haber sido las únicas partes de la física, que hayan merecido el profundo estudio de los sabios.

(1) FLAMSTEED (Derby 1646-Greenwich 1719). Niño débil, sus padres temían perderlo y lo dejaron seguir enteramente su vocación que era la del estudio. En 1669, unas notas sobre la ecuación del tiempo lo hicieron conocer por la Sociedad Real. Su padre decidió entonces mandarlo a Cambridge a prefeccionar sus estudios y allí el joven astrónomo conoció a NEWTON, ya célebre. En 1675, fué nombrado astrónomo real por Carlos II, con la recomendación de JOAS MOORE, profesor de matemáticas del futuro Jacobo II. Carlos II, aconsejado por HOOKE WREN, MOORE y LORD BROWNCKER, hizo construir el célebre observatorio de Greenwich, y nombró a FLAMSTEED su director. La causa de su animosidad hacia NEWTON proviene de una indiscreción que cometió éste al divulgar unas observaciones científicas que FLAMSTEED le había comunicado, pidiéndole el secreto. Fué un observador escrupuloso, que se ocupó mucho en perfeccionar los instrumentos y que llegó a establecer un interesante método de cálculo de eclipses solares y un sistema para proyección de mapas. A su muerte fué reemplazado por el célebre astrónomo EDMUNDO HALLEY (1656-1724).

Newton no ha establecido un método nuevo de investigación, pero ha sabido unir con prudencia el razonamiento, el experimento, el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, para investigar las causas de los fenómenos ya conocidos, yendo, ya del hecho a la causa, ya de la causa al hecho, no preocupándose casi exclusivamente como GALILEO, de descubrir hechos nuevos por medio del experimento, ni haciendo como DESCARTES, quien después de haber establecido un principio "evidente" sacaba una serie de deducciones con que tentaba reconstruir mentalmente el Universo. Como GALILEO fué el fundador de la Física Experimental, Newton fué el fundador de la Física Matemática, y dió además a la ciencia aquella tendencia de generalización en leyes y principios que caracteriza los siglos XVIII y XIX y que ya se encuentra en la obra de STEVIN.

Su mecánica (1) se encuentra toda en sus "Principios Matemáticos de la Filosofía Natural" obra en tres tomos publicada en 1686, por primera vez, por la Sociedad Real, y que contiene su descubrimiento capital, la "Ley de la Atracción Universal" (2). Los filósofos antiguos estudiaron la gravedad, pero la atribuían, como ARISTOTELES, a una tendencia natural de los cuerpos a acercarse a la Tierra. No puede atribuírse a PLUTARCO derecho a ser considerado como uno de los precursores de la atracción universal, sólo por estas palabras tantas veces citadas: "la Luna no se mueve según el movimiento de su pesantez, pues su inclinación es desviada por la violencia de la revolución circular". En el siglo XVI, puede citarse a GROTS que habla de "Atracción magnética de los cuerpos alejados, que mantiene los cuerpos suspendidos y en equilibrio en el espacio". GALILEO estudió con detención la atracción de la Tierra, demostrando lo vano de la explicación peripatética que atribuía "a los graves, un lugar bajo" y a "los leves un lugar alto" y explicó que la Tierra ejercía una

(1) Véase "La Mécanique" de MACH, pág. 180-241.
(2) Léase en GAY, "Lectures Scientifiques" interesantes citaciones de la mecánica de NEWTON, pág. 58-86 y de su óptica, pág. 235-266.

fuerza atractiva sobre todas las partes de los cuerpos, sin sospechar sin embargo, que esta fuerza pudiera extenderse fuera de nuestro mundo. Se acercaron también a este descubrimiento: COPERNICO, quien hablaba "de la tendencia natural con que el divino arquitecto ha dotado las partes de la materia para hacerlas aptas a unirse para formar esferas"; KEPLERO, quien consideraba el Sol como un vasto imán y hablaba de la atracción de todos los cuerpos; BOUILLAUD (1605-1694), quien dijo que "la fuerza que el Sol ejerce sobre los planetas es en razón inversa del cuadrado de su distancia"; BORELLI sobre todo, y FERMAT, quienes amplificaron el concepto de la atracción y entendieron que los movimientos de los astros deben ser regidos por alguna fuerza que ejercen los unos sobre los otros. En el tiempo de Newton, en fin, HOOKE, WREN, HALLEY, y también HUYGHENS, abordaron muy sabiamente la cuestión de la atracción, aunque ninguno llegó a demostrar y establecer matemáticamente su ley, como lo hizo Newton, con tanta exactitud, que sirve de base segura a los trabajos astronómicos. (1)

Esto, Newton pudo realizarlo por un trabajo puramente teórico y basándose en las leyes de la caída de los cuerpos de GALILEO, las leyes astronómicas de KEPLERO y la ley de la fuerza centrífuga de HUYGHENS; estos tres grandes genios deben ser considerados, pues, como verdaderos precursores de este gran principio de generalización científica.

Para lograr su demostración, Newton necesitaba otra ley mecánica que estableció él mismo y es conocida como "tercera ley del movimiento" o "ley de la acción y reacción".

Este trascendental estudio que Newton inició en 1665 y terminó y publicó en 1687 establece claramente: que,

(1) No se han podido explicar, sin embargo, ciertas desigualdades en el movimiento de la Luna, o en el perihelio de Mercurio y de Marte, pero, aunque la ley de la gravitación parece tener una oposición en estas pequeñas diferencias, ha permitido por otra parte calcular con precisión problemas tan complicados que existe la convicción de que se explicarán estos errores, sin cambiar la ley en sí. La teoría de la relatividad de EINSTEIN da una explicación de estos errores, considerando la ley de NEWTON como una aproximación.

cuando una fuerza acciona constantemente y desde el foco de una elipse, una parábola o una hipérbole, sobre un cuerpo que recorre estas curvas, esta fuerza obra en razón inversa del cuadrado de la distancia e inversamente; que las fuerzas de atracción de dos cuerpos son inversamente proporcionales al cuadrado de su distancia y que esos cuerpos se mueven alrededor de su centro de gravedad común; que las fuerzas de atracción de dos cuerpos se comportan como sus masas.

Una vez establecidos esos principios, Newton los amplió a todo el sistema planetario.

Al establecer que: "la atracción entre dos cuerpos es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia" se ha introducido evidentemente el concepto de la atracción en la ciencia y se ha podido servirse de ella como de un valor bien determinado, pero no se ha descubierto la causa de esta fuerza que crea la posibilidad de una "acción a distancia". Newton mismo se expresó así en su obra:

> " Yo he explicado hasta aquí los fenómenos celestes y los del mar por la fuerza de la gravitación, " pero no he hablado en ninguna parte de la causa de " esta gravitación. Esta fuerza proviene de alguna causa que penetra hasta el centro del Sol y de los planetas sin perder nada de su actividad, acciona según la cantidad de la materia y su acción se extiende por todas partes a distancias inmensas, decreciendo siempre; pero no he podido deducir de estos fenómenos la razón de estas propiedades de la " gravedad y no imagino hipótesis: "*Hypotheses non* " *fingo*".

Más lejos, sin embargo, emite una vaga hipótesis diciendo:

> "¿El éter no es acaso más raro en los cuerpos densos del Sol, de las estrellas, de los planetas y de los "cometas que en los espacios celestes vacíos que se encuentran entre estos cuerpos?"

y explica que es "natural suponer" que los planetas tienen una tendencia a seguir la impulsión del éter, que hace un esfuerzo para abandonar las regiones más densas o regiones libres del espacio y ocupar las más rarificadas, cerca de los astros. Esta hipótesis, evidentemente insuficiente, no satisfizo más que la teoría de los torbellinos de DESCARTES, y la causa de la atracción universal queda tan ignorada como la "tendencia natural" o la "simpatía" de los antiguos filósofos. (Véase MOSSOTTI).

Además de su trascendental descubrimiento de la atracción universal, Newton ha hecho hacer otro gran progreso a la mecánica de GALILEO y de HUYGHENS, pues le ha dado "el enunciado formal de sus principios" (1); ha sintetizado y fijado los conceptos físicos de tal modo, que sus definiciones forman hasta en nuestros días una especie de dogma, sólo atacado por HERTZ (véase) y por algunas teorías modernas relacionadas con la teoría de EINSTEIN.

Newton cristalizó así el concepto del "tiempo absoluto, verdadero y matemático" y del "tiempo relativo, aparente y vulgar", el concepto del "espacio absoluto, inmóvil, invariable y sin relación con las cosas externas"; diferenció el movimiento absoluto del movimiento relativo; generalizó el principio de fuerza y distinguió la "fuerza absoluta" (que jamás definió) de la "fuerza aceleradora" (que iguala a la aceleración) y de la "fuerza motriz" (producto de la masa por aceleración); confundió con frecuencia los conceptos de masa y peso; generalizó el principio del paralelogramo de fuerzas que quería demostrar e introdujo el principio de la acción y de la reacción.

Hizo descansar toda la mecánica sobre tres axiomas: 1º la ley de inercia, 2º la ley de proporcionalidad entre la fuerza y la acción, y 3º el principio de igualdad entre la acción y la reacción.

Estudió la influencia del ambiente en el movimiento y demostró que la resistencia al movimiento es proporcional

(1) "La Mécanique" de MACH, pág. 180.

al cuadrado del diámetro de una esfera y a la densidad del medio. En el caso del péndulo estudió detenidamente esta influencia del medio sobre la fuerza ascensional. Estableció que la aceleración ya no es g sino (M - m) g, siendo M la masa del péndulo y m la del flúido.

Estudió también detenidamente la fuerza centrífuga y la fuerza centrípeta en un medio sin resistencia y en un medio resistente.

En 1728, en su "Tratado de un sistema del mundo en forma popular", dedujo de sus trabajos sobre gravitación que una montaña debe hacer desviar la plomada. Fué esta idea que pusieron en práctica BOUGUER (1749) en el Chimborazo, LIESGANIG (1770) en los Alpes, MASKELYNE (1774) en el Shehallien (Escocia) y muchos otros, obteniendo resultados aproximados del valor de la densidad de la Tierra.

Después de HUYGHENS (1673), Newton (1687) reconoció también la exactitud del principio de la conservación del centro de gravedad que D'ALEMBERT debía tomar como base de su "Mecánica".

Por todo ello, nuestra mecánica clásica puede ser considerada como la obra de tres grandes genios: GALILEO, HUYGHENS y Newton.

Estudiaremos ahora la óptica de Newton, que durante su vida le dió su mayor celebridad, pero que en nuestros días ha perdido mucho de su mérito científico, aunque conserve un inmenso valor histórico. En 1666, Newton adquirió en Cambridge un prisma de vidrio y empezó a realizar experimentos. Por una abertura pequeña en un postigo de un cuarto obscuro, hizo penetrar un haz de luz, lo hizo pasar a través del prismo, y observó que la imagen coloreada que se formaba, y que llamó "espectro solar", era considerablemente alargada.

Atribuyó primero este hecho a algún defecto del prisma, pero, haciendo pasar la luz por otro prisma en posición inversa, volvióse a formar un disco de luz blanca, que tenía la misma dimensión que si no hubiera pasado por ellos. Pero si, con una cinta de papel aislaba uno de los

colores del espectro, el segundo prisma componía el color complementario del color separado. Se convenció así de que este aumento de la imagen, esta "dispersión" de la luz, era debido a la diferente refrangibilidad de los diversos colores que la constituyen. Imaginó otros experimentos para comprobar su idea, como el célebre "disco de Newton" que era ya conocido por AL HAZEN; pero entre ellos destacaremos los dos siguientes, que son clásicos:

El primero consiste en pegar sobre un cartón negro en una misma línea, dos tiritas de papel, una roja y otra violeta, y, mirándolas a través de un prisma, ambas se ven desviadas, pero la violeta mucho más que la roja. En el segundo experimento se forma el espectro solar sobre una pantalla en que se practica un agujero detrás del cual se coloca un segundo prisma; luego se mueve el primer prisma para hacer pasar sucesivamente por el agujero de la pantalla los distintos colores del espectro y se observa la refracción de cada uno de ellos en el prisma segundo, comprobando así que los rayos violetas son los más refrangibles y los rojos los menos.

Este descubrimiento de Newton tuvo muchos admiradores, pero más adversarios aún; entre éstos citaremos al PADRE PARDIES, MARIOTTE y HOOKE, y HUYGHENS, como ya lo hemos visto.

Este descubrimiento lo llevó a estudiar la aberración cromática de las lentes, que se explicaba ahora fácilmente. Pero Newton, que enseñó a corregir la aberración esférica, cometió el error de creer que no se podía corregir la cromática, pues ignoraba que las distintas substancias gozan en grados distintos de la propiedad de dispersar los rayos luminosos (crownflint o vidrio con plomo) como lo demostraron EULER, BEGUELIN, KLINGENSTJERNA y como lo realizó DOLLOND (1758). Convencido así de la inutilidad de los anteojos de refracción, Newton se ocupó de la construcción de un telescopio, perfeccionando el de GREGORY del que había leído una descripción en la "Optica" de este su compatriota. Presentó, en 1671, a la Sociedad Real de Londres, el aparato al que hemos tenido ya

ocasión de referirnos, y que le valió el honor de ser admitido en esa Sociedad. Es de notar también que Newton no citó el nombre de GREGORY ni aún el de MERSENNE, quien fué el primero que tuvo la idea de construir un telescopio de reflexión, y Newton no se opuso a que se creyera que era inventor de este instrumento.

Debe observarse también que si Newton al observar el espectro no descubrió las rayas de FRAUENHOFER se debe al hecho de que utilizaba un diafragma de forma circular o triangular en lugar de una rendija de bordes paralelos.

En 1670, poco después de su estudio de la dispersión, Newton amplió, por medio de esos conocimientos, la teoría del arco iris de DESCARTES, explicando el orden de los colores por su distinta refrangibilidad en las gotas de agua, consideradas como prismas, mientras que el filósofo francés se había limitado a considerar geométricamente la formación de los arcos. Después de haber completado así el descubrimiento de DESCARTES, explicando lo que éste había forzosamente dejado sin solución, Newton cometió la injusticia de querer rebajar el valor de la obra de su predecesor francés atribuyendo a DOMINIS más mérito de lo debido en la explicación del arco iris; pues después de dedicar bastante líneas a DOMINIS, sólo dice de DESCARTES:

> " DESCARTES, que ha seguido esta explicación " (de DOMINIS), ha corregido la del arco exterior. " Pero como estos dos sabios no entendían el verdadero origen de los colores, es necesario examinar " esta cuestión..."

Las ideas de Newton sobre la composición de la luz blanca le hicieron entrever una teoría de los colores que hasta entonces no tenía explicación clara, fuera de la de BOYLE. Newton entendió perfectamente que el color de un cuerpo no es una "cualidad" del cuerpo mismo, como lo creían los antiguos. Explicó que, según su disposición molecular, un cuerpo absorbe ciertos rayos luminosos y refle-

ja los otros y que estos rayos reflejados son los que forman el color que se atribuye al cuerpo. HUYGHENS y HOOKE creyeron que esta teoría estaba en contradicción absoluta con la teoría de las ondulaciones; y su adaptación a la teoría de las ondulaciones ha sido dada por vez primera por EULER.

Hacia 1673, Newton fué inducido, por observaciones anteriormente hechas por BOYLE y HOOKE, a estudiar los anillos coloreados que se forman al comprimir trozos de vidrio uno contra otro y que BOYLE había estudiado en las pompas de jabón y HOOKE entre los dos prismas de vidrio y alrededor de las manchas de la mica. Dióse cuenta de que el mejor modo de observar el fenómeno era colocando una lente plano-convexa tangencialmente sobre una lámina de vidrio. Mirando de costado, es decir recibiendo los rayos luminosos por reflexión, vió en el punto de contacto una mancha obscura rodeada de anillos alternativamente luminosos y obscuros que presentan los colores siguientes desde el centro: 1er. anillo: azul, blanco, amarillo, rojo; 2º anillo: violado, azul, verde, amarillo, rojo; 3er. anillo: púrpura, azul, verde, amarillo, rojo; 4º anillo: verde, rojo; 5º anillo: azul, verdoso, rojo. Mirando ahora a través de los vidrios, es decir recibiendo los rayos refractados, la mancha central aparece luminosa y los anillos en orden inverso de color o sea: 1er. anillo: rojo, obscuro, violado, azul; 2º anillo: blanco, amarillo, rojo, violado, azul; 3er. anillo: verde, amarillo, rojo, verde azulado; 4º anillo: rojo, verde, azulado; 5º anillo: rojo. Así que donde se observa un color por reflexión, aparece por refracción el color complementario.

Prosiguiendo sus experimentos, y reemplazando la lámina de aire, entre los vidrios por otras substancias llegó a establecer varias proposiciones como las siguientes:

> " Para cada substancia los colores cambian con el " espesor de la lámina y con la inclinación con que se " mira y desaparecen cuando la lámina es demasiado " fina o espesa". "Los colores simples (la luz mono- " cromática) dan anillos alternativamente obscuros y

" brillantes y estos últimos tienen el color de la luz que " los forma y su diámetro es tanto más grande, cuanto " menos refrangible es la luz".

Hizo medidas de los anillos y llegó a establecer que:

" Los cuadrados de los diámetros de los anillos " coloreados observados por reflexión están como los " números 1, 3, 5, 7, etc... y los cuadrados de los diá- " metros de los anillos coloreados observados por re- " fracción como los números 2, 4, 6, 8 etc..."; y que: " El espesor que corresponde a un anillo varía con la " substancia de la lámina de reflexión en razón in- " versa de su índice de refracción".

Esta breve reseña de algunas conclusiones a que llegó el célebre físico en el estudio de este fenómeno nos muestra que no es sin razón que se acostumbra llamarlo en Física "anillos coloreados de Newton", aunque HOOKE y BOYLE los hayan descubierto antes, pero sin darle explicación, ni descubrir sus leyes.

Newton era partidario de la teoría de las emisiones que tuvo que defender contra los ataques de sabios como HUYGHENS y HOOKE, que defendían a su vez la teoría de las ondulaciones, pero su influencia sobre sus contemporáneos impuso la teoría, que fué universalmente admitida hasta que, en 1817, el físico francés FRESNEL, hiciera salir definitivamente del olvido los trabajos de HUYGHENS sobre las ondulaciones y demostrara su superioridad científica.

La teoría de la emisión existía mucho antes de Newton y recordaremos aquí que se encuentran rastros de ella en los escritos de EMPEDOCLES y que, entre los modernos, KEPLERO (1604) y GASSENDI (1640) consideraban la luz como formada por partículas infinitamente pequeñas que se propagan con gran velocidad en todas las direcciones. Al hablar de FRESNEL y de su victoria sobre los últimos defensores de la materialidad de la luz, veremos con qué ingeniosidad Newton y sus sucesores supieron explicar los fenómenos de óptica por medio de esta teoría y

cómo FRESNEL supo atacarla en sus puntos más débiles. Entre ellos se debe citar aquí la explicación que Newton dió de los anillos coloreados, que tan fácilmente se explican como fenómenos de interferencia por medio de las ondulaciones. Imaginó una verdadera teoría nueva, la extraña hipótesis de los "accesos", para suplir a la laguna que dejaba la hipótesis de las emisiones.

Según ella, cuando la luz se ha refractado a través de una superficie plana por ejemplo, sus moléculas llegan a la segunda superficie (la curva de una lente plano-convexa en el mismo ejemplo) y, según su dirección, algunas penetran en ella y otras se reflejan y atraviesan de nuevo la superficie plana. Así que, a partir del punto de contacto de la lente con la superficie plana, hay regiones en que la luz es refractada y otras en que es reflejada: si se observa el fenómeno por reflexión, las moléculas luminosas reflejadas forman anillos luminosos, mientras que las regiones de moléculas refractadas forman anillos obscuros; y si se observa el fenómeno por trasmisión, las regiones de la luz refractada, que antes eran obscuras, aparecen luminosas y las antes luminosas aparecen obscuras, pues los rayos reflejados que las formaban no atraviesan la lente. En otros términos se podría decir que Newton consideraba que, cuando la luz se ha refractado una vez, sus moléculas tienen estados periódicos alternativos de fácil refracción o reflexión y determinan regiones en que atraviesan una segunda superficie y otras en que son reflejadas por ella. Estos estados alternativos de las moléculas, son lo que llamó los "accesos" ("fits", en inglés), nombre con que se designa la teoría. Esta fué útil hasta cierto punto, pero Newton mismo no dejó de darse cuenta que su grave defecto consiste en atribuir a las supuestas moléculas luminosas una propiedad nueva, que no se puede deducir normalmente de su constitución ni de su movimiento, y cuyo mismo nombre de "fits" o sea "accesos" o "veleidades" o "caprichos" es prueba clara de su falta de base científica segura.

Tentó entonces buscar nuevas teorías que explicaran la causa de los accesos, pero fueron poco felices y tuvieron

enemigos entre los mismos partidarios del sabio. Debe agregarse además que Newton no defendió la teoría de las emisiones con tan profundo convencimiento como suele creerse, ya que en varias partes de su óptica parece vacilar entre ésta y la teoría de las ondulaciones.

Por otra parte, no es exacto decir, como lo hacen tantos autores modernos y con una simple comparación superficial, que la teoría de las emisiones de Newton ha vuelto a vencer a la teoría de las ondulaciones porque ha vuelto a aparecer en la teoría de los quanta (1900) o en la modernísima teoría de la luz del francés LUIS DE BROGLIE (1924). Ni las especies de átomos de energía de PLANCK, ni la hipótesis de las ondulaciones de los iones y electrones de DE BROGLIE son una confirmación de la teoría de la emisión de Newton.

Newton, que tanto se oponía a admitir que el éter sirve de medio propagador de la luz, no vacilaba en atribuir a este mismo éter la propagación de la gravitación y consideraba su existencia como indispensable a la propagación del calor radiante en el vacío. Es que, del hecho de que Newton prefirió admitir la teoría de la materialidad de la luz, no debiera deducirse demasiado a prisa que fué enemigo de la hipótesis del éter. Bien al contrario, debe ser considerado como el verdadero autor del concepto científico de esta hipótesis, ya mencionada vagamente por los antiguos y recogida por muchos sabios de los tiempos modernos. El éter, según Newton, es un flúido sumamente elástico, sin viscosidad alguna que penetra todos los cuerpos, pero de densidad variable según el cuerpo en que se encuentra o que rodea, siendo manifestación de esta variación de densidad del éter en los cuerpos, la cohesión de éstos y la misma atracción universal.

El trabajo de Newton sobre los anillos coloreados le causó una nueva y tan acerba discusión con HOOKE que decidió no ocuparse más de óptica mientras estuviera éste en la Sociedad Real. Guardó su palabra, pues publicó su "Optica" en 1704 o sea dos años después de la muerte de su rival.

Esta obra es la reunión de todo lo que Newton había hecho en óptica. Se divide en tres libros: El primero estudia la reflexión, la refracción y la dispersión, y explica estos fenómenos por la teoría de las emisiones, imaginando fuerzas de atracción para la refracción y de repulsión para la reflexión, e hipótesis más complicadas aún para establecer cómo un mismo cuerpo puede ejercer simultáneamente atracción y repulsión sobre la luz. En el segundo libro, Newton habla de los anillos coloreados y del color de los cuerpos con más amplitud que en sus memorias anteriores. El tercer libro trata de la difracción y de la doble refracción y su polarización, siendo en los dos puntos inferior a GRIMALDI y a HUYGHENS, respectivamente. En la difracción negaba la existencia de las franjas coloreadas en la sombra, pero observó las franjas exteriores a la sombra y las atribuía a nuevas fuerzas atractivas y repulsivas del cuerpo.

A la "Optica", Newton agregó dos disertaciones de matemáticas en la primera de las cuales establece su teoría de las fluxiones y 31 preguntas "que sirven de conclusión" a toda la obra. En estas preguntas se ve que Newton tenía serias dudas acerca de la teoría de las emisiones. La teoría de las ondulaciones parece atraerlo a pesar de considerar que ella no explica la formación del rayo luminoso rectilíneo; pero no se decide a admitirla y quisiera poder explicar los fenómenos luminosos sin tener que decidir entre la teoría de la emisión y la de las ondulaciones. A veces, sin embargo, debe recurrir a una hipótesis y entonces elige la de las emisiones.

CORNU (1) dice: "El tercer libro de la "Optica" ya "no es la discusión imparcial de sistemas opuestos; "parece el cuadro de los sufrimientos de un genio poderoso, atormentado por la duda..."

Veamos algunas de las preguntas en que Newton demuestra, que, si en el curso de su obra de "Optica" no ha lo-

(1) ALFREDO CORNU, "La Théorie des Ondes Lumineuses". Rev. Gén. des Sciences, 30 de Julio de 1899.

grado su fin de examinar los hechos sin tomar partido por ninguna teoría y si, a la fuerza, debió en ciertos casos emplear la emisión, no fué sin sentir verdadera atracción hacia la teoría de las ondulaciones:

" Pregunta VIII. — Todos los cuerpos fijos, " cuando son calentados hasta cierto punto, arrojan " luz y brillan: ¿esta emisión no es producida por " las vibraciones de sus partes?..."

" Pregunta XII. — ¿Los rayos de luz, al golpear " el fondo del ojo, no excitan vibraciones en la re- " tina?..."

" Pregunta XIII. — ¿Rayos de distinta especie " no producen vibraciones de distintas magnitudes, y " estas vibraciones de distintas magnitudes, sensacio- " nes de diferentes colores, casi de la misma manera " que las vibraciones del aire causan, según sus mag- " nitudes, sensaciones de distintos sonidos? ¿Y par- " ticularmente, los rayos más refringibles no producen " las más cortas vibraciones para excitar la sensación " del violado obscuro; las menos refringibles, las vi- " braciones las más extendidas para la sensación del " rojo obscuro?..."

" Pregunta XVIII. — ¿El calor de un espacio ca- " liente no es trasmitido a través del vacío por vibra- " ciones de un medio mucho más sutil que el aire, que " queda en el vacío después que se haya sacado el " aire? ¿Y este medio no es el mismo que refracta y " refleja la luz y por cuyas vibraciones la luz comunica " calor a los cuerpos y tiene accesos de fácil reflexión " o de fácil trasmisión?..."

En las preguntas 19, 20 y 21, Newton examina las propiedades del éter; luego explica su influencia en la gravitación. Estudia la doble refracción en las preguntas 25 y 26. Después de la pregunta 26, Newton se inclina hacia la teoría de la emisión:

" Pregunta XXVIII. — ¿No son erróneas todas
" las hipótesis que atribuyen la luz a una presión (1)
" o a un movimiento a través de un mismo flúido (2)?
" Si la luz consiste en una presión o en un movimiento
" de propagación instantánea o progresiva, se en-
" corvaría en la sombra. Pues una presión o un mo-
" vimiento no puede propagarse en línea recta en un
" flúido más allá del obstáculo que detiene parte del
" movimiento..."

" Pregunta XXIX. — ¿Los rayos de luz no son
" pequeños cuerpos emitidos por las substancias lumi-
" nosas?"

Todas las cuestiones de física que se discutían en su tiempo interesaron a Newton, y en acústica, hidráulica, calor y electricidad realizó numerosos experimentos.

En acústica, quizo determinar teóricamente la velocidad de propagación del sonido en el aire y llegó a las fórmulas:

$$V = \sqrt{e : D}, \text{ y: } V = \sqrt{\frac{p}{\delta}} = \sqrt{\frac{pg}{D}}$$

en que V es la velocidad de propagación del sonido a 0°, e la elasticidad, p la presión del aire, δ su masa, D la densidad y g la aceleración de la gravedad.

Los resultados obtenidos por esta fórmula no coincidían con las medidas alcanzadas prácticamente, de las que recordaremos algunas:

1640. — MERSENNE	1473	pies por segundo	(470m.37)
" "	1380	" " "	(441m.22)
1656. — ACADEMIA DEL CIMENTO	1183	" " "	(384m.24)
1700. — BOYLE	1200	" " "	(389m.76)

(1) Teoría de DESCARTES.
(2) Teoría de las ondulaciones de HOOKE o HUYGHENS.

ROEMER, PICARD, CASSINI, HUYGHENS	1097	"	"	"	(356m.30)
WALKER	1150	"	"	"	(373m.52)
WALKER	1526	"	"	"	(495m.62)
HALLEY	1020	"	"	"	(331m.30)
ROBERTS	1220	"	"	"	(396m.26)
y en fin, la medida de la: ACADEMIA DE CIENCIAS (738)	1038	"	"	"	(333m.--)

Si aplicáramos la fórmula de Newton reemplazando sus términos por sus valores respectivos encontraríamos: V= 280 metros o sea un resultado inferior a la realidad de casi un 19 %; pero Newton encontraba el valor de 294 m/seg. LAGRANGE, POISSON, BIOT y muchos otros matemáticos y físicos se han preocupado de la verificación de esta fórmula y veremos más adelante que LAPLACE (1816) ha introducido un coeficiente K variable para cada gas, que corrige el error debido a las variaciones de temperatura ocasionadas por las condensaciones y dilataciones del gas. Para el aire este coeficiente K= 1.187 aproximadamente, lo que da para V el valor de 333.4 m/seg.

Newton estableció todavía que las ondas productoras de sonidos no difieren en nada de las que los propagan.

Consideraba como BACON, DESCARTES, BOYLE y otros, que el calor es el resultado de un movimiento, que se podría reproducir mecánicamente en un cuerpo, y no se rehusaba a admitir que puede ser un movimiento vibratorio del éter.

Para sus experimentos del calor empleaba un termómetro de aceite de lino que tenía por puntos fijos la temperatura de fusión del hielo y la temperatura del cuerpo humano.

Medía altas temperaturas, por medio de una varilla prismática de hierro con agujeros equidistantes rellenados con una aleación Pb, Sn y Bi, inventando así el primer pirómetro; y quiso establecer una relación entre el tiempo y la temperatura que pierde el hierro, para poder conocer su

grado de calor en cualquier momento, sin la pérdida de tiempo inevitable en el empleo del termómetro.

Estableció así la "ley del enfriamiento" que lleva su nombre y puede expresarse:

"La rapidez del enfriamiento es proporcional a
" la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del
" ambiente".

DULONG y PETIT han demostrado que esta ley es sensiblemente inexacta cuando el exceso de temperatura del cuerpo sobre la del ambiente es superior a 20 grados.

En hidráulica, se ocupó Newton del derrame de los líquidos y aportó una corrección a la fórmula de TORRICELLI.

En electricidad y magnetismo, realizó experimentos pero no descubrió ningún hecho importante.

No podemos terminar sin citar al menos algunos de los grandes descubrimientos de Newton en matemáticas. En álgebra, estableció la fórmula de los coeficientes del binomio, el límite superior de las raíces de una ecuación numérica, la teoría de las funciones simétricas de raíces, el problema de interpolación y muchos más. En geometría, hizo importantes descubrimientos también; pero su obra principal ha sido de haber merecido el título de fundador del cálculo infinitesimal y a este respecto se debe recordar la disputa que por este importante descubrimiento, tuvo con LEIBNITZ.

Newton inventó la teoría de las fluxiones (1), sumamente parecida al cálculo diferencial que LEIBNITZ, por trabajo absolutamente personal, estableció pocos años más tarde, pero publicó en 1684 o sea 21 años antes que New-

(1) La palabra "fluxiones" es sinónima de "derivadas", pues NEWTON llamaba a éstas "flujos" por haber introducido este concepto en estudios de mecánica.

ton hiciera publicar su teoría conjuntamente con su "Optica" (1704). Newton no discutió la prioridad del invento de LEIBNITZ, más aún, la reconoció en una edición de sus "Principios" y fueron los partidarios del sabio inglés que acusaron de plagio al sabio alemán. Cometieron así una injusticia, que tiene por única disculpa la celosa admiración que profesaban a su maestro. Y aquí una mancha viene a obscurecer la vida de Newton: Cuando LEIBNITZ indignado por la acusación de los ingleses, y sobre todo de DUILLERS (2) y KEILL (3), protestó ante la Sociedad Real de Londres, Newton, que era su presidente y sabía que su colega alemán no había copiado su obra sino bien al contrario había llegado a concebir una obra superior a la suya, no tuvo el coraje de decirlo, y se limitó a nombrar una comisión en el seno de la misma sociedad para juzgar la cuestión. Obró de mala fe, pues era evidente que esta Comisión, formada por amigos, compatriotas y partidarios, tenía que dar, como lo hizo, una injusta y vergonzosa sentencia. Además, en su tercera edición de los "Principios", Newton suprimió la nota en que reconocía los derechos de LEIBNITZ. Este acto al que se pueden agregar también muchos momentos de irascibilidad irrazonada en disputas como la que tuvo con HOOKE, que discutía sus derechos a la gravitación universal y atacaba la teoría de las emisiones, demuestra claramente que, aunque fué uno de los más grandes genios de la historia, Newton sufría desmedidamente el imperio de la vanidad.

---

(2) FATIO DE DUILLERS, matemático suizo radicado en Inglaterra, nació en Basilea en 1664 y murió en Worcester en 1753. Estaba en relaciones con CASSINI, HUYGHENS, LEIBNITZ y sobre todo con NEWTON, de quien era un partidario entusiasta. Fué el primero que, en 1669, atribuyó el cálculo infinitesimal sólo a NEWTON y dejó sospechar, sin hacer acusación formal, que LEIBNITZ había plagiado al célebre sabio inglés. FATIO era un gran matemático, pero demostró ser algo desequilibrado en sus extraordinarias manifestaciones de fanatismo religioso.

(3) JUAN KEILL (Edimburgo 1671-1721), era doctor en medicina y fué profesor de la Universidad de Oxford y socio de la Sociedad Real de Londres. Fué sobre todo, su acusación, que decidió a LEIBNITZ a protestar.

Considerada en conjunto, la obra de Newton es una obra genial y magnífica, y todas las ciencias, durante los dos siglos que nos separan de ella, han sentido directa o indirectamente su poderosa influencia. Es en Holanda, con BOERHAAVE, S'GRAVESANDE y MUSSCHENBROEK, que la obra de Newton fué mejor interpretada y más rápidamente aceptada en el continente europeo. Francia, el centro científico más importante de la época, tardó en admitir y aún en conocer la obra de Newton a la cual los sabios, imbuídos de las ideas cartesianas, se oponían por sus discordancias con la física de DESCARTES, tales como la admisión del vacío, o el concepto newtoniano de la atracción universal considerado por los cartesianos como una fuerza oculta y un retroceso a la escolástica en oposición con la hipótesis mecánica de los torbellinos sostenida por DESCARTES. Pero bien pronto muchos sabios como D'ALEMBERT, el abate NOLLET, la Marquesa de CHATELET propagaron los conceptos newtonianos en Francia y tuvieron un aliado en Voltaire.

ROEMER
(1644-1710)

Velocidad de la luz. Anteojo meridiano. Termómetro.

El astrónomo danés, OLAVO ROEMER, nació en Aarhuns en 1644 y murió en Copenhague en 1710.

Fué discípulo de ERASMO BARTHOLIN, su célebre compatriota del que hemos hablado anteriormente, y demostró tener disposiciones especiales para las ciencias exactas. En 1671, conoció a PICARD en Uraniburgo donde éste se preocupaba en determinar la posición exacta del lugar para la mejor comprensión de los trabajos de TYCHO BRAHE.

ROEMER, que se había ocupado mucho del estudio de la obra de BRAHE, fué un útil colaborador de PICARD, y

éste, que dos años antes había hecho venir a CASSINI a Francia, decidió al joven astrónomo danés a acompañarlo a París. Allí, ROEMER fué nombrado enseguida profesor de matemáticas del delfín y miembro de la Academia de Ciencias, en muchos de cuyos trabajos tomó parte. Entre ellos, recordaremos una medida de la propagación del sonido que realizó con HUYGHENS, PICARD y CASSINI y que hemos citado anteriormente.

En 1681, abandonó París al mismo tiempo que lo hacía HUYGHENS y por la misma razón: las persecuciones a los protestantes, preludio de la Revocación del Edicto de Nantes.

Fué nombrado entonces profesor de matemáticas de la Universidad de Copenhague, director del Observatorio, director de la casa de Moneda, inspector de arsenales y puestos, consejero de Estado y, en 1705, fué elegido burgomaestre de Copenhague, fecha en que dejó de ocuparse de ciencias.

Dos años más tarde, fué atacado de una dolorosa enfermedad que puso fin a su vida en 1710.

Los hechos que perpetúan su nombre son el descubrimiento del método astronómico de medida de la luz y el invento del anteojo meridiano.

CASSINI fué el primero en observar ciertas desigualdades que se reproducían periódicamente en el movimiento de los astros y las atribuyó, en 1675, al tiempo que la luz demora en recorrer la distancia que nos separa de ellos. ROEMER hizo con él numerosas observaciones sobre el primer satélite de Júpiter y, convencido de que la luz no se propaga instantáneamente como lo creyera DESCARTES, sino que necesita tiempo para recorrer los espacios celestes, imaginó, en 1676, un método que permitía medir la velocidad de esta propagación, mientras que CASSINI repudiaba su propia idea y dejaba a ROEMER toda la gloria del descubrimiento. Cuando la Tierra y Júpiter se encontraban del mismo lado del Sol, observó el momento en que el primer satélite de este planeta penetraba en su cono de sombra. Ahora, como conocía la velocidad de este saté-

lite de Júpiter y la de la Tierra, le fué fácil calcular en qué momento se debían observar eclipses del satélite, cuando la Tierra y Júpiter se encontraran en puntos diametralmente opuestos con respecto al Sol. Notó que el fenómeno no pareció realizarse sino 986 segundos después de lo calculado y atribuyó este retraso a la diferencia de distancia que la luz debía recorrer en este caso, diferencia igual al diámetro de la órbitra terrestre o sea unos 340 millones de kilómetros. Si la luz demora 986 segundos en recorrer una distancia de 304 millones de kilómetros, es que su velocidad es de unos 308.316 kilómetros por segundo.

En el mismo año, ROEMER presentó sus cálculos a la Academia de Ciencias y recibió numercsos ataques de los partidarios de la teoría cartesiana de la propagación instantánea de la luz; pero HUYGHENS y NEWTON, sus dos grandes contemporáneos, defendieron sus resultados, pues ambos encontraban en ellos un argumento a favor de su teoría de la composición de la luz. En 1727, BRADLEY imaginó otro método astronómico de medida de la velocidad de la propagación de la luz. En 1849, FIZEAU llegó a medirla por un método físico y obtuvo el valor de 313.300 km./seg. Tendremos ocasión de ocuparnos de otras medidas al hablar de DELAMBRE, ARAGO, FOUCAULT, CORNU, MICHELSON, NEWCOMB y otros.

Además de su determinación de la velocidad de la luz, de su invento del anteojo meridiano y de su participación en la determinación de la velocidad del sonido, debe agregarse que — según descubrimientos recientes de la Historia de Ciencias — Roemer hubiera sido el precursor inmediato de FAHRENHEIT en los grandes descubrimientos termométricos realizados por este sabio, pues Roemer parece haber construído termómetros de precisión en 1703, que hizo conocer a FAHRENHEIT cuando éste vivió en su casa en el año 1708. (1)

---

(1) "Hist. de la Phys." de HOPPE, pág. 224.

LEIBNIZ (1)
(1646-1716)

Su método. La fuerza viva y su conservación en todos los procesos mecánicos. La mónada. Niega el vacío. Máquina de calcular. Barómetro aneroide. Chispa eléctrica. El frotamiento.

RODOLFO GUILLERMO LEIBNIZ (o Leibnitz): matemático, filósofo, historiador y diplomático, nació en Leipzig en 1646 y murió en Hannover en 1716.

Leibniz no es propiamente un físico, pero, por pequeña que fuese su obra en esta ciencia, nos serviría de pretexto para dar un breve bosquejo de la vida de este gran contemporáneo de HUYGHENS y de NEWTON y hablar de su obra matemática y "físico-filosófica".

Con Leibniz volvemos a encontrar uno de esos espíritus enciclopédicos que todo lo entienden, todo lo profundizan con asombrosa facilidad. En sus primeros estudios leyó a los autores antiguos cuyas obras encontraba en la biblioteca de su padre, profesor de moral de la Universidad de Leipzig. Estudió sucesivamente en su ciudad natal con THOMASIUS, en Jena con WIGEL, en Leipzig, donde recibió los títulos de bachiller y licenciado en ambos derechos, y en Altdorf donde recibió el grado de doctor (1666). Antes de esa fecha ya había publicado varias obras como su "Principio de Individuación" (1663) y "Arte Combinatorio" (1666), en que se proponía buscar en las matemáticas un método para poder establecer una ciencia universal. Poco después, fuése a Nuremberg, donde se ocupó algún tiempo de alquimia y conoció al barón de Boineburga que lo hizo entrar en la vida política y nombrar Primer Consejero del Elector de Maguncia (1670). Mientras tanto, publicó obras de derecho, política y filosofía. Comunicó a la Academia de Ciencias de París su "Teoría del movimiento abstracto" (1671) y a la Sociedad Real de Londres la "Teoría del mo-

(1) Léase el pequeño compendio "Leibnitz" por PAUL ARCHAMBAULT (Edit. Louis Michaud, París).

vimiento concreto" (1671), que son dos obras de física en que quiso hacer entrar en la ciencia cartesiana algunas ideas metafísicas, como el esfuerzo, el alma, la fuerza, y demostró que, para concebir el Universo, no basta, como lo hizo DESCARTES, recurrir a la extensión y el movimiento, sino que deben concebirse ideas para explicar las causas del mismo movimiento, ideas que encontraba en la metafísica.



LEIBNIZ

Desde aquí podemos vislumbrar la influencia de Leibniz en física. DESCARTES había repudiado los conceptos metafísicos de los antiguos y tentaba explicar toda la naturaleza por el racionalismo y el mecanismo. Leibniz admitía la exactitud de ciertos principios cartesianos, pero consideraba indispensable devolver a la ciencia, ciertas nociones que estos habían excluído.

En 1672, fué a París con el vano propósito de desviar las ambiciones de Luis XIV fuera de Europa, pin-

tándole con atractivos colores, las bellezas de una expedición a Egipto. Fracasó en sus proyectos políticos, pero tuvo relaciones amistosas con grandes sabios como HUYGHENS y TSCHIRNHAUSEN (1), que le comunicaron interesantes conceptos de matemáticas; CLERSELLIER y PERIER, el cuñado de PASCAL, que le enseñaron los manuscritos inéditos de este gran sabio francés y de DESCARTES; y discutió con los filósofos ARNAULD, HUET, MALEBRANCHE y otros grandes eruditos. En 1673 viajó por Inglaterra, que después de Francia era el principal centro científico del mundo; conoció allí a NEWTON, BOYLE, WALLIS, GREGORY, BARROW, HOOKE, WREN, COLLINS, y fué elegido individuo de la Sociedad Real.

En esa época murió su protector, el elector de Maguncia, pero el duque de Brunswick-Luneburgo le señaló una pensión que le permitió quedarse en París hasta 1676, año en que volvió a Alemania para ocupar el puesto de bibliotecario en Hannover, que le había otorgado su nuevo protector. Desde ese momento se ocupó más activamente que nunca de la política interior y exterior de Alemania, se inmiscuó en todas las cuestiones religiosas y políticas de Europa, propuso expediciones a Carlos XII y a Pedro el Grande, y empezó la redacción de sus "Anales de Brunswick" sin abandonar sus estudios científicos. En 1683, publicó su "Discurso de Metafísica"; estudió más profundamente, amplificó y corrigió la física de DESCARTES y especialmente su teoría de los choques, dando la fórmula de la conservación de la fuerza viva (que hoy llamamos "energía cinética" como la bautizara KELVIN), como lo habían

(1) TSCHIRNHAUSEN. El físico y matemático alemán WALTER DE TCHIRNHAUSEN nació en Kieslingswalde, en Silesia, en 1651, y murió en Dresden en 1708. Después de recibir una buena educación en Alemania, terminó sus estudios en Leiden y realizó viajes en Italia, Inglaterra y Francia. Fué miembro de la Academia de Ciencias, a la que presentó espejos ustorios cuyo poder maravillaba. Tomó parte contra Francia en las guerras de Holanda. Estableció tres grandes fábricas de vidrio en Sajonia y se dedicó a la fabricación de espejos y lentes.

hecho WREN y HUYGHENS, en Inglaterra. Veamos cómo se expresa al respecto, en esa obra:

" Frecuentemente nuestros nuevos filósofos se sir-
" ven de esta regla famosa de que Dios conserva siem-
" pre la misma cantidad de movimiento en el mundo.
" En efecto, es muy plausible y antes yo lo tenía por
" indudable. Pero desde entonces he reconocido en qué
" consiste la falta. Es que el señor DESCARTES y
" muchos hábiles matemáticos o han creído que la canti-
" dad de movimiento, es decir, la velocidad multipli-
" cada por la magnitud (masa) del móvil es exacta-
" mente la fuerza moviente o, para hablar geométri-
" camente, que las fuerzas están en razón compuesta
" de las velocidades y de los cuerpos.

" Ahora bien, es muy razonable que la misma
" fuerza se conserve siempre en el Universo... Ellos
" han creído que lo que se puede decir de la fuerza, po-
" dría decirse también de la cantidad de movimiento.
" Pero, para mostrar la diferencia, yo supongo que un
" cuerpo que cae de una cierta altura adquiere la fuer-
" za suficiente para volver a su punto de partida, si
" su dirección lo lleva y siempre que no encuentre al-
" gún impedimento; por ejemplo: un péndulo subiría
" perfectamente a la altura de la que descendió si la
" resistencia del aire y algunos otros pequeños obtácu-
" los no disminuyeran un poco su fuerza adquirida.
" Yo supongo también que se necesita tanta fuerza pa-
" ra elevar un cuerpo A de una libra de peso a una al-
" tura CD de cuatro toesas como para elevar otro cuer-
" po B de cuatro libras a una altura EF de una toesa.
" Todo esto lo admiten nuestros nuevos filósofos. Es,
" pues, claro que el cuerpo A, habiendo caído de la al-
" tura CD, ha adquirido tanta fuerza como el cuerpo
" B caído de la altura EF, pues el cuerpo B habiendo
"-llegado en F y teniendo allí la fuerza de subir has-
" ta E (en virtud de nuestra primera suposición) tie-
" ne por consiguiente la fuerza suficiente para llevar
" un cuerpo de cuatro libras, o sea su propio peso, a

" la altura EF, de una toesa. Lo mismo, el cuerpo A, " habiendo llegado a D y teniendo allí la fuerza de " subir hasta C, tiene fuerza para llevar un cuerpo " de una libra, o sea su propio peso a la altura CD, de " cuatro toesas. Así pues, (y en virtud de nuestra se- " gunda suposición) la fuerza de estos dos cuerpos es " igual. Veamos ahora si la cantidad de movimiento " es también la misma de un lado y de otro; pero es " allí donde nos sorprenderemos de encontrar una di- " ferencia grandísima. GALILEO ha demostrado que la " velocidad adquirida en la caída CD, es doble de la ve- " locidad aquirida en la caída EF aunque la altura sea " cuádruple. Multipliquemos, pues, el cuerpo A, que " es como 1, por su velocidad, que es como 2, y el pro- " ducto o "cantidad de movimiento" será como 2. Por " otra parte multipliquemos el cuerpo B, que es como " 4, por su velocidad, que es como 1, y el producto o " cantidad de movimiento" será como 4. La cantidad " de movimiento del cuerpo A en el punto D es pues, " la mitad de la cantidad de movimiento del cuerpo B " en el punto F y sin embargo, sus fuerzas son iguales. " Hay, pues, aquí, una diferencia entre la "cantidad " de movimiento" y "la fuerza" y esto es lo que que- " ría demostrar".

Con este sencillo ejemplo es fácil ver que para que la fuerza de los dos cuerpos sea igual, basta multiplicar su masa por el cuadrado de su velocidad y se encuentra así el valor de la "fuerza viva", término introducido por Leibniz, así como el teorema de su constancia en todos los procesos mecánicos, concepto discutido por todos sus contemporáneos. En general, los sabios italianos y alemanes defendían a Leibnitz, que tenía en BERNOULLI uno de sus más valiosos partidarios. La discusión fué violenta y hasta VOLTAIRE actuó en el bando cartesiano; pero, en 1748, D'ALEMBERT en su "Tratado de Dinámica" puso las cosas al punto y terminó la contienda.

El establecimiento del principio de conservación de la fuerza viva por Leibniz marca, más aún, que el de con-

servación de la cantidad de movimiento de DESCARTES, una fecha importante en la historia de los orígenes del principio de la conservación de la energía y por consiguiente de la Termodinámica y de la Energética. Vemos, en efecto, que Leibniz introduce, además, lo que llama la "acción motriz" y la "acción latente". Según él, si la acción motriz parece perderse en ciertos casos, es que los movimientos sensibles son transformados en movimientos moleculares. "No se podría enunciar más claramente la hipótesis que ha sido el origen de la teoría mecánica del calor (1)." Además de esta afirmación de POINCARE, veamos como, ya en 1740, la MARQUESA DU CHATELET (2) desarrollaba la idea de Leibniz en sus "Instituciones de Física". Después de explicar la conservación de la fuerza viva en los choques de cuerpos elásticos, fenómeno en que la restitución de la fuerza viva perdida por uno de los cuerpos es evidente, la sabia marquesa agrega:

" En cuanto a lo que pasa entre cuerpos incapaces " de restitución, es este un caso en que no es fácil seguir " a la fuerza viva porque ha sido consumida en desa- " lojar las partículas del cuerpo, en vencer su cohe- " rencia, en romper su contextura, en tender tal vez " los resortes que están entre sus partes, y... quién " sabe en que más!

" Pero lo que es seguro, es que la fuerza no pere- " ce. Puede parecer que se pierda, pero siempre se vol- " vería a encontrar en los efectos que produce, si se " pudiera siempre descubrir estos efectos".

En 1684, Leibniz escribió su "Nuevo método para máximos y mínimos" obra completa del cálculo infinitesi-

---

(1) H. POINCARE. "Leçons sur la thermodynamique", pág. 7.

(2) EMILIA LE TONNELIER DE BRETEUIL, MARQUESA DU CHATELET (París 1706-Luneville 1749) fué una mujer de gran erudición, pero de vida licenciosa. Tradujo varias obras de NEWTON y se recuerdan sus "Instituciones Físicas" (1740) y su "Respuesta a MAIRAN sobre las fuerzas vivas" (1741). VOLTAIRE fué uno de sus amantes.

mal, que había ideado en París hacia 1676 (véase NEWTON). En 1700, fué asociado a la Academia de Ciencias de París y en el año siguiente elegido Presidente perpetuo de la Academia de Ciencias de Berlín, recién fundada.

Después de muchas importantes obras de geometría y filosofía, publicó, en 1714, la "Monadología" en que acabó de explicar la constitución de la materia por la teoría de la "mónada". La mónada, átomo de energía, punto material sin extensión, centro metafísico de la fuerza, causa del movimiento, fué considerada indispensable por Leibniz para agregar al mecanismo de DESCARTES, que no es más que estudio de los efectos visibles de los fenómenos, el dinamismo que es la causa, el origen mismo, del mecanismo. Pero encontramos en la obra misma de Leibniz explicaciones suficientemente resumidas para poder reproducirlas aquí. Vemos en su "Sistema Nuevo de la Naturaleza" las lineas que siguen:

"Yo estoy dispuesto a hacer justicia a los moder- "nos" dice el filósofo refiriéndose a los partidarios del mecanismo cartesiano, "sin embargo, encuentro "que han llevado demasiado lejos la reforma; como "cuando confunden las cosas naturales con las arti- "ficiales por no tener ideas bastante grandes de la "majestad de la Naturaleza. Conciben que la única "diferencia que hay entre sus máquinas y las nuestras "es la que existe de lo grande a lo pequeño. Yo creo que "esto no es dar una idea bastante digna de ella y nues- "tro sistema es el único que hace conocer, al fin, la "verdadera e inmensa distancia que hay entre las me- "nores producciones y mecanismos de la sabiduría di- "vina y las más grandes obras maestras del arte de "un espíritu limitado; esta diferencia no consiste so- "lamente en el grado sino en el género mismo".

Después de considerar necesaria la existencia de unidades simples indivisibles para formar la materia compuesta, dice:

"Los átomos de materia son contrarios a la ra-
"zón, además están aún compuestos de partes, pues
"la unión invencible de una parte con otra (si esto pu-
"diera concebirse o suponerse con razón) no destrui-
"ría de ningún modo su diversidad. No hay más que
"los átomos de "substancia", es decir: las unidades
"reales y absolutamente desprovistas de partes, que
"sean las fuentes de las acciones y los primeros princi-
"pios absolutos de la composición de las cosas y como
"los últimos elementos de análisis de las substancias.
"Podrían llamarse "puntos metafísicos"; tienen algo
"de vital y una especie de percepción y los puntos ma-
"temáticos son su punto de vista para expresar el uni-
"verso".

Y explica mejor aún su idea de la mónada en otra parte de la misma obra:

"A pesar de que yo sea uno de los que han es-
"tudiado mucho las matemáticas, no he dejado de me-
"ditar sobre la filosofía desde mi juventud; pues me
"parecía siempre que era posible establecer en ella
"algo sólido por medio de demostraciones claras. Yo
"había penetrado mucho en el país de los escolásti-
"cos cuando las matemáticas y los autores modernos
"me hicieron salir de él, aún muy joven. Su hermoso
"modo de explicar la naturaleza mecánicamente me en-
"cantó y yo despreciaba con razón el método de los
"que no emplean más que formas, o facultades que
"no enseñan nada. Pero desde entonces, habiendo tra-
"tado de profundizar los principios mismos de la me-
"cánica para dar razón de las leyes de la naturaleza que
"la experiencia hace conocer, me dí cuenta de que la
"sola consideración de una masa con extensión no bas-
"ta y que se debe emplear todavía la noción de fuer-
"za, que es muy inteligible a pesar de que sea meta-
"física. Al principio, cuando me había librado del yu-
"go de ARISTOTELES, había admitido el vacío y
"los átomos, porque es lo que llena mejor la imagina-

" ción; pero habiendo cambiado de idea después de
" muchas meditaciones, me dí cuenta de que es posible
" encontrar los principios de una verdadera unidad en
" la materia sola, o en lo que no es más que pasivo,
" pues todo en ella no es más que colección o amonto-
" namiento de partes al infinito. Para encontrar estas
" unidades reales fuí obligado a recurrir a un átomo
" formal pues mi ser material no podría ser a la vez
" material y perfectamente indivisible o dotado de una
" verdadera unidad. Fué necesario pues, volver y re-
" habilitar las formas substanciales, tan criticadas hoy,
" pero volver a ellas haciéndolas inteligibles y separan-
" do el uso que de ellas se debe hacer, del abuso que
" se ha hecho. Yo encontré pues que su naturaleza con-
" siste en la fuerza y que debían concebirse a imita-
" ción de la noción que tenemos de las almas".

Estas pocas líneas nos muestran claramente la idea primordial del gran filósofo alemán: La materia debe tener una unidad, pues sino no puede concebirse su existencia. DESCARTES tiene razón en decir que el átomo, como lo concibió DEMOCRITO, no puede ser unidad, pues siendo materia debe ser divisible. Entonces debe concebirse otra unidad, inmaterial, y para esto deben rehabilitarse algunas de las ideas metafísicas que los cartesianos repudiaron por completo; la mónada es esta unidad; es un punto físico, sin extensión, cuyo concepto es parecido al que tenemos del alma; es un centro de energía, de acción. Estas ideas tienen un interés muy especial en esta época en que hemos llegado a un punto de la ciencia que nos obliga de nuevo a cambiar nuestro concepto de la constitución íntima de la materia en que algunas de las teorías e hipótesis científicas modernas tiene cierta relación con el concepto metafísico de Leibniz.

Estaba de acuerdo con DESCARTES en cuanto a la imposibilidad de la existencia de un vacío absoluto y decía:

" Se me objeta el vacío inventado por GUERICKE
"de Magdeburgo, que se hace bombeando el aire de

" un recipiente y se pretende que hay verdaderamente
" vacío perfecto o espacio sin materia, en parte al me-
" nos, en este recipiente. Los peripatéticos y los carte-
" sianos, que no admiten el verdadero vacío, han con-
" testado a este experimento de Guericke tanto como
" al de TORRICELLI de Florencia (que vaciaba el
" aire de un tubo de vidrio por medio de mercurio)
" que no hay ningún vacío en el tubo o en el recipien-
" te, ya que el vidrio tiene poros pequeños por los cua-
" les los rayos de luz, los del imán y otras materias
" muy delgadas pueden pasar y yo soy de la misma
" opinión..."

Citemos aún: el invento de Leibniz de una máquina de calcular, inspirada en la que hizo PASCAL, pero que tenía sobre ésta la ventaja de multiplicar y dividir en vez de sólo servir para adiciones y sustracciones como la del sabio francés; la idea del barómetro aneroide que expresó en una carta a PAPIN en 1697, no siendo construído este aparato sino en 1844 por VIDI; las experiencias que realizó Leibniz con una máquina eléctrica que le remitiera GUERICKE y de la cual fué el primero en sacar una chispa eléctrica lo que asombró al mismo GUERICKE; su estudio del frotamiento en que distinguió el frotamiento de deslizamiento del frotamiento de rodadura.

En 1716, Leibniz murió en Hannover, casi abandonado por sus protectores, y la Academia de Ciencias de París fué la única que supo recordar con un elogio al gran sabio cuya muerte hubiera, de otro modo, pasado completamente inadvertida. Este elogio fué pronunciado por FONTENELLE (1), sobrino de CORNEILLE.

---

(1) FONTENELLE nació en Ruán en 1657 y murió en París en 1757. Fué literato y sabio y formó parte de la Academia Francesa y de la Academia de Ciencias. En esta última asociación hizo durante cuarenta años los elogios de los miembros desaparecidos y redactó una interesante historia de sus trabajos. Se ocupó mucho de cuestiones astronómicas, pero siempre prevaleció en él el escritor.

PAPIN
(1647-1714)

La máquina neumática. La marmita y la válvula de seguridad. Máquina de vapor, de émbolo y válvula. Perfeccionamiento de la máquina de Savery. Bote de vapor.

DIONISIO PAPIN nació en Blois en 1647 y murió en Marburgo, poco después de 1714.

Su padre, que era médico protestante, le hizo hacer sin embargo sus primeros estudios, en el colegio de los Jesuítas en su ciudad natal, pero le hizo ingresar en la Universidad protestante de Angers (1662), donde recibió el título de doctor en medicina (1669).

En 1672, se instaló en París donde ejerció su profesión y colaboró con HUYGHENS en sus experimentos sobre la fuerza explosiva de la pólvora(1).

Tres años más tarde publicó su primera obra "Nuevos experimentos para hacer el vacío", en que describe varios perfeccionamientos de la máquina neumática, pero poco después abandonó de repente Francia, perseguido sin duda por los católicos, y se refugió en Inglaterra donde BOYLE lo asoció a sus trabajos.

El gran sabio inglés apreciaba en su justo valor los méritos de su joven colaborador y le atribuyó en sus obras una buena parte de sus investigaciones sobre el vacío y de los perfeccionamientos de las máquinas neumáticas.

Papin publicó, en Londres en 1681, y en París en 1682, su "Modo de reblandecer los huesos y de cocer toda clase de manjares en muy poco tiempo y con muy poco gasto", obra en la que describe por primera vez la famosa "marmita" basada en la observación de BOYLE de que la presión eleva el punto de ebullición. La válvula de seguridad de que está provista, está formada por una especie de pis-

---

(1) En 1680, HUYGHENS hizo conocer a la Academia de Ciencias una máquina de pólvora que puede ser considerada como la primera máquina provista de un cilindro y de un pistón, y cuyo principio es exactamente el mismo que el de la máquina construída por PAPIN hacia 1687.

tón en cuyo émbolo descansa una palanca, a lo largo de la cual se hace correr una pesa para aumentar o disminuir la fuerza que debe ejercerse en el interior de la marmita para levantar el pistón; de modo que, para evitar una explosión, la válvula deja escapar el vapor tan pronto como su tensión pase del límite determinado por la posición de la pesa en la palanca.

El invento de la marmita dió a su autor cierta celebridad y le abrió las puertas de la Sociedad Real; en la historia de la máquina de vapor marca la importante fecha del invento de la válvula de seguridad.



PAPIN

De 1682 a 1684, Papin estuvo en Venecia, donde tenía un puesto en una sociedad científica que acababa de fundarse. No encontrando en esa ciudad suficientes recursos, quiso volver a Francia, pero la Revocación del Edicto de Nantes se lo impidió. Fué a Londres y continuó su colaboración con BOYLE, con quien publicó, en 1687, "Una continuación al nuevo digeridor de huesos" en que se encuentra la descripción de una nueva máquina neumática con platina y campana de vidrio, dos cuerpos de bombas y

válvulas en vez de llaves, llaves que además Papin había perfeccionado dándoles una doble perforación (1674). (1)

En 1687, el landgrave de Hesse-Cassel, Carlos, le ofreció una cátedra de matemáticas en Marburgo, donde parte de su familia se había refugiado después de la Revocación del Edicto de Nantes. En esa época, los físicos estaban preocupados por un gran problema: se trataba de construir una máquina en que la fuerza motriz fuera la presión atmosférica, y Papin, interesado por todas las cuestiones físicas y mecánicas, presentó una solución. Aprovechó los experimentos sobre la fuerza de explosión de la pólvora que había hecho con HUYGHENS y trató de realizar y perfeccionar la máquina que habían ideado. Imaginaba así su funcionamiento: Una cantidad de pólvora inflamada debajo del pistón del cilindro provoca la expansión del aire que se escapa por una válvula, dejando en el interior una rarefacción suficiente para que la presión atmosférica exterior haga bajar rápidamente el pistón.

No tuvo éxito con esta máquina y se puso a reflexionar en el modo de reemplazar la fuerza de explosión de la pólvora y eligió la expansión del vapor. Construyó entonces un cilindro en cuyo fondo ponía un poco de agua y, acercándolo y alejándolo alternativamente del fuego, el vapor hacía subir el pistón por su fuerza de expansión, y la presión atmosférica externa lo hacía bajar a medida que el vapor se condensaba (2).

En 1690, describió esta primera máquina de vapor con pistón, en su obra "Nueva manera de producir fuerzas motrices considerables con poco gasto", y aconsejaba su uso

(1) Este perfeccionamiento se atribuye erróneamente a SENGUERD (1646-1724), que sólo lo utilizó en 1681.

(2) Debe recordarse que, en 1678, JEAN HAUTEFEUILLE había propuesto una máquina en que se aprovechaba alternativamente la evaporación y la condensación del alcohol. Este Hautefeuille era hijo de un panadero de Orleans, ciudad en que nació en 1647 y murió en 1724, y donde fué adoptado por la duquesa de Bouillon, que lo hizo estudiar y entrar en la Iglesia. Fué un gran mecánico e ideó, como HUYGHENS, máquinas accionadas por la explosión de la pólvora. No debe ser confundido con el químico del siglo XIX, de mismo apellido.

sobre todo para elevar agua, pero con la seguridad de que podría transformarse el movimiento rectilíneo en circular y llegar a utilizarse como motor para toda clase de máquinas, como para "arrojar bombas, hacer marchar navíos", etc. Este invento tuvo muy poco éxito y apenas algunos sabios se dignaron hacer notar sus defectos.

En 1705, LEIBNIZ le mandó una descripción de la máquina que SAVERY había inventado en 1698 y que había explicado, en 1702, en su obra "El Amigo del Minero". Papin le aportó varios perfeccionamientos y construyó con ella un bote a vapor que fué destruído antes de ser conocido.

Se ha discutido la veracidad de este hecho y muchos autores consideran improbable que Papin haya realizado este proyecto. Reconocerlo, sería demostrar que Papin mismo no conocía la superioridad de su máquina de vapor con pistón sobre la de SAVERY, pues el motor del barco consistía, sencillamente, en una máquina que elevaba el agua del río a cierta altura para dejarla caer sobre una rueda de paletas.

Papin habría hecho, en 1707, experimentos satisfactorios cerca de Cassel, con la intención de bajar el Fulda, seguir el Weser hasta Bremen, para ir de allí a Inglaterra; pero el derecho de pasar por el Weser le fué rehusado por el elector de Hannover, y unos boteros, que creían ver en esta máquina un serio rival para su oficio, la destrozaron durante la noche. Aún admitiendo con esta narración que Papin haya construído este barco, antes de declararlo fundador de la navegación a vapor, tendrían que refutarse los argumentos de los autores españoles, que reclaman este honor para su compatriota BLASCO DE GARAY (1).

(1) BLASCO DE GARAY. Vivió en la primera mitad del siglo XVI; era probablemente oficial de la marina española, pero poco o nada se sabe sobre su vida. Algunos autores españoles tienen fe en ciertos documentos que se dice provienen del archivo de SIMANCAS, y según los cuales este mecánico habría presentado al Emperador Carlos V la descripción y los planos de una aplicación de la fuerza del vapor para reemplazar las velas y los remos de los barcos y en el año 1543 habría realizado experimentos enteramente satisfactorios en el puerto de Barcelona, por los cuales el Emperador habríale concedido una gratificación de

Descorazonado por su fracaso, Papin se fué a Inglaterra, pero su gran amigo BOYLE había muerto, y fué en vano que durante siete años pidió recursos para poder construir su barco de vapor. En el último grado de miseria, volvió a reunirse con su familia en Alemania y, después de de esta fecha de 1714, nada se sabe acerca de él, pero se supone que murió en el mismo año de su vuelta. Y

" fué así" — dice HOPPE — " que el progreso de la " civilización fué retardado 100 años".

La vida de Papin fué llena de decepciones y de miseria; no conoció la gloria, pues fué mucho después de su muerte, cuando, a fines del siglo XVIII, la máquina de vapor se vulgarizó y transformó completamente las condiciones de la industria, que se empezó a averiguar a quienes se debía este inmenso progreso, y que se recordó con respeto el nombre de este pobre sabio, casi ignorado.

200.000 maravedíes y otras mercedes. Pero no se sabe en qué consistía el invento de Garay y la única prueba de que era una aplicación del vapor, es que algunos testigos certificaron haber visto, aunque no les fué permitido acercarse, una enorme caldera por donde salía vapor de agua. No son menos los autores españoles que, después de estudiar cuidadosamente los documentos del archivo, han llegado a la convicción de que su invento consistiría, sencillamente, en reemplazar los remos y las velas por ruedas de paletas accionadas desde el interior del barco por marinos. M. MENENDEZ Y PELAYO en su obra "La Ciencia Española" dice: "No incluyo a Blasco de Garay, a quien erradamente se ha supuesto inventor de la aplicación del vapor a la navegación. Véase demostrado lo contrario en la "Memoria" publicada sobre este asunto por D. J. Rubió y Ors." ARAGO en su "Noticia histórica sobre la máquina de vapor", rechaza toda participación de Garay en el invento de la navegación a vapor, porque no atribuye fe a documentos que no fueron impresos, porque no se encuentra tampoco en ellos la prueba de que era el vapor que accionaba el barco y, en fin porque, si estas dos razones no fueran suficientes, la máquina de Garay podría ser una eolipila. Véase, en fin, la biografía de Garay en "La Ciencia y sus Hombres" de FIGUIER, T. III, pág. 645.

SAVERY (1650-1715)

Su máquina de vapor 'Bomba de fuego".

TOMAS SAVERY, nació en Shilston (Devonshire) en 1650, y murió en 1715. Pertenecía a una distinguida familia, recibió buena educación y se hizo ingeniero militar; esto es más o menos todo lo que se sabe en cuanto a su vida y no con mayor certeza, pues algunos autores dicen que era obrero de mina y que llegó a ser capitán de marina.

En 1698, construyó una máquina de vapor para la elevación del agua a la que dió el nombre de "Bomba de fuego"; la presentó a la Sociedad Real (1699) y la describió, considerablemente perfeccionada, en su libro "El amigo del minero" (1702). Su forma más sencilla puede describirse así: Un recipiente cerrado está puesto en comunicación con el exterior por tres tubos: uno, en la parte superior, que sirve de entrada al vapor producido por una caldera, y los otros, en la parte inferior, sirven el uno, para la aspiración del agua de un depósito, y el otro, para la salida del agua repelida. Estos dos últimos tubos llevan válvulas, y el primero una llave. Para hacer funcionar la máquina se hace entrar vapor, que por su fuerza expansiva ejerce presión sobre el agua contenida por el recipiente y ésta se escapa por el tubo de salida del cual abre la válvula, mientras cierra la válvula del tubo de aspiración. Se cierra entonces la llave del tubo de entrada del vapor y se vierte agua fría sobre el recipiente. El vapor se condensa y se forma un vacío relativo; la presión atmosférica exterior cierra la válvula del tubo de salida del agua y hace subir el agua del depósito por el tubo de aspiración cuya válvula se abre. La máquina está pronta de nuevo para recibir vapor y la operación se repite. Así, pues, este recipiente único que sirve de cilindro de vapor, condensador y bomba, constituye toda la máquina de Savery, cuyo gran perfeccionamiento sobre las anteriores es la condensación rápida por enfriamiento del cilindro.

Para dar mayor rendimiento, Savery empleaba varios cilindros cuyos tubos correspondientes se unían en uno solo y llegaba así a elevar el agua con tanta rapidez que la "bomba de fuego" pudo ser empleada para el desagüe de las minas. En la historia de la máquina de vapor, Savery es un continuador de WORCESTER y el contemporáneo de PAPIN.

Después de la muerte de Savery, esta máquina fué perfeccionada por DESAGULIERS (1), BLAKELY, RIGLEY y otros.

SAUVEUR
(1653-1716)

Vibración de cuerdas. Límites de perceptibilidad de los sonidos.

PITAGORAS fué el primero que trató científicamente el estudio de las vibraciones sonoras, y durante más de dos mil años, la acústica no progresó casi nada. NEWTON volvió a introducir las matemáticas en esta parte de la fí-

(1) JUAN DESAGULIERS (La Rochela 1683-Londres 1744). Hijo de protestantes desterrados de Francia por la Revocación del Edicto de Nantes, fué educado en Inglaterra, donde recibió el título de bachiller en la Universidad de Oxford. Fué profesor de esta Universidad en reemplazo de KEILL. Fué capellán del príncipe de Gales e individuo de la Sociedad Real de Londres. En esta Sociedad publicó numerosas mememorias sobre física y matemáticas. Entre ellas son más conocidas las que tratan de electricidad, máquina de vapor, resistencia del aire y fuerza centrífuga. En física, fué partidario de NEWTON, para quien realizó numerosos experimentos. En electricidad, se deben a Desaguliers los términos de cuerpos "conductores" y "eléctricos por sí" o no conductores, sobre los cuales había realizado interesantes experimentos inspirados por los de DUFAY. En 1718, Desaguliers, siguiendo indicaciones de GRAVESANDE, construyó una máquina de vapor de SAVERY perfeccionada, en que disminuyó considerablemente el volumen del recipiente, agregó una válvula de seguridad de PAPIN a la caldera y reemplazó el enfriamiento exterior del recipiente, no simplemente por un chorro de agua fría en el interior, como lo hacía NEWCOMEN, sino rociando todo el interior del cilindro por medio de una especie de roseta de regadera a fin de producir una condensación más rápida del vapor. Con esta máquina llegaba a elevar diez toneladas de agua a una altura de 27 metros en una hora.

sica con su célebre fórmula de la propagación del sonido, y, fuera de algunas experiencias de F. BACON, en el estudio especial de las vibraciones de las cuerdas, sólo merece ser citado MERSENNE.

A fines del siglo XVII, se empezó a considerar que la acústica debe ser estudiada científicamente, no sólo para perfeccionar la música, sino para abrir a la ciencia un nuevo campo de investigaciones, y entre los sabios que empezaron este importante movimiento, merece una mención muy especial, JOSE SAUVEUR.

Nació en La Fleche en 1653, y murió en París en 1716. Era hijo de un notario, y fué educado en el célebre colegio de La Fleche, donde también se educaron MERSENNE y DESCARTES; pero en sus primeros estudios, no pudo demostrar sus dotes especiales pues, hasta los seis años, era sordo y mudo, y naturalmente muy atrasado. Fuése a París para prepararse para la carrera eclesiástica, pero abandonó su proyecto y se dedicó exclusivamente a las matemáticas y la física. En 1680, fué nombrado maestro de matemáticas de los pajes de la Delfina: seis años más tarde era profesor del Colegio de Francia y, en 1696, miembro de la Academia de Ciencias.

En 1701, publicó una memoria en que dice haber descubierto vibraciones transversales de las cuerdas, que no se producen en toda su longitud, pero que las dividen en partes determinadas que llamó "vientres" y "nodos" y producen un sonido más elevado que llamó "sonido armónico" o "sobretono". Para obtener estas vibraciones producía un sonido fundamental, en la cuerda de un monocordio, y mientras vibraba la tocaba en un punto determinado. Creía sinceramente haber sido el primero en observar los sonidos que llamó armónicos, pero cuando supo que los ingleses NOBLE y PIGOT habían realizado experimentos parecidos en 1677, es decir unos veinte años antes, no vaciló en abandonar todas sus pretensiones y reconocer los derechos de sus predecesores. Ejemplos de tal probidad científica no son bastante numerosos en la historia para que se pueda pasar sin llamar la atención sobre ellos.

Trató también de encontrar un método para la determinación del número de vibraciones de un sonido. Para esto propuso aprovechar los "golpes" o "pulsaciones", que se oyen cuando dos tubos de órgano dan notas graves poco distintas. Atribuyó justamente estos golpes a una coincidencia y unión periódica de las vibraciones de los tubos, debida a la poca diferencia en su número de vibraciones, pero el método que propuso para comparar los sonidos a un tubo de órgano de número de vibraciones conocido no tuvo aceptación.

Empleó su método para determinar los límites de perceptibilidad de los sonidos y obtuvo doce vibraciones por segundo, para el sonido más grave, y seis mil cuatrocientos para el más elevado.

La importante obra realizada por SAUVEUR tiene indudablemente mucho mérito, pues fué realizada en un tiempo en que la acústica era casi desconocida y puede ser consideraba como el punto de partida de las profundas investigaciones que realizaron más tarde SARTI, EULER, TAYLOR, CHLADNI, BERNOULLI, SAVART, LAGRANGE, HELMHOLTZ y otros.

BERNOULLI (JACOBO)
(1654-1705)

El péndulo físico. Principio de D'Alembert.

Como lo hemos dicho en las generalidades sobre el siglo XVIII, el nombre de BERNOULLI evoca el hermoso recuerdo de una familia de sabios, de una especie de nobleza de intelectualidad, como se suelen encontrar algunos ejemplos en el curso de la historia de las ciencias.

Los hermanos JACOBO y JUAN, primeros Bernoulli que glorificaron su nombre, descendían de una familia originaria de Amberes, que había tenido que abandonar esta ciudad por cuestiones religiosas a fines del siglo XVI, en

la época de la revolución de los Países Bajos contra el régimen español que el Duque de Alba imponía con fanático rigor.

Fueron astrónomos y matemáticos además de Juan y Jacobo, que estudiamos separadamente, los tres hijos de Juan (que se distingue con el nombre de Juan I): NICOLAS II, DANIEL y JUAN II y los hijos de este último JUAN III y JACOBO II (véase JUAN BERNOULLI). En otras ramas del humano saber se destacaron también varios otros miembros de esa gloriosa familia, como JERONIMO (1745-1829) célebre naturalista, JUAN (1710-1790) afamado jurisconsulto.

JACOBO BERNOULLI, el mayor de los hermanos, nació en 1654 en Basilea, donde murió en 1705. Realizó viajes de estudio en Suiza, Francia, Bélgica, Holanda e Inglaterra. En 1687, fué nombrado profesor de matemáticas de la Universidad de su ciudad natal y se destacó de tal manera que, tres años más tarde, la Academia de Ciencias de París lo eligió como miembro, y en 1701 recibió idéntico título de la Academia de Berlín. Fué, con su hermano Juan, uno de los primeros que comprendiera y adoptara el método de LEIBNIZ resolviendo, por medio de él importantes problemas, y fué uno de los fundadores de la teoría de las probabilidades (1713). Estudió detalladamente la influencia de la torsión y de la elasticidad del hilo del péndulo. Continuó el estudio de HUYGHENS sobre el péndulo compuesto, considerado como péndulo matemático, acercándose más que HUYGHENS al principio sobre el cual D'ALEMBERT había de fundar su mecánica y que lleva su nombre. Agreguemos en fin que JACOBO I BERNOULLI ya afirmó que la ley de BOYLE MARIOTTE sólo es exacta dentro de ciertos límites.

VARIGNON
(1654-1722)

Composición de fuerzas. Teorema de Varignon.

PEDRO VARIGNON nació en Caen en 1654 y murió en París en 1722.

Fué miembro de la Academia de Ciencias, y profesor en el Colegio de Francia y en el Colegio Mazarin.

Tiene, como su amigo JUAN BERNOULLI, el título de haber sido de los primeros en aceptar y defender las teorías matemáticas de LEIBNIZ, pero su nombre debe figurar además, entre los de los grandes renovadores de la mecánica.

En su "Proyecto de una Nueva Mecánica", que publicó en París en 1687, su exposición es tan rigurosamente exacta, y tan desprovista de los términos metafísicos que en su tiempo abundaban aún en el lenguaje científico, que parece una obra moderna.

En ella se encuentran: un enunciado claro y en la forma usual de la composición de las fuerzas concurrentes por el paralelogramo de las fuerzas imaginado por STEVIN; un enunciado general del principio de las velocidades virtuales, basado en una comunicación que le fué hecha por JUAN BERNOULLI; y el origen de la teoría de los momentos, con el famoso "teorema de Varignon":

> "La suma algebraica de los momentos de dos
> " fuerzas concurrentes, con relación a un punto toma-
> " do en su plano, es igual al momento de su resul-
> " tante".

HALLEY
(1656-1742)

Primer mapa de declinaciones. Auroras boreales. Fórmula de distancias focales y de puntos conjugados en espejos esféricos y lentes. Hipsometría.

EDMUNDO HALLEY, cuyo nombre pertenece más bien a la historia de la astronomía por los grandes progresos que hizo realizar a esta ciencia, debe figurar también entre los físicos y los matemáticos que glorifican la historia.

Nació en Haggerston, cerca de Londres, en 1656 y murió en 1742, en Greenwich, donde ocupaba la dirección del observatorio. Hizo rápidos y brillantes estudios en Londres y en Oxford, y contaba apenas veintidós años cuando la Sociedad Real de Londres lo consideró digno de formar parte de ella. Allí se hizo amigo de NEWTON, a quien convenció de publicar sus famosos "Principios de filosofía natural", de HOOKE, de WREN y de muchos otros grandes sabios. En 1703, reemplazó a WALLIS en su cátedra de Oxford; en 1713, fué elegido secretario de la Sociedad Real; en 1720, reemplazó a FLAMSTEED en la dirección del Observatorio de Greenwich; en 1729, recibió el título de socio extranjero de la Academia de Ciencias de París.

Se ha preocupado mucho del magnetismo terrestre, que, desde GILBERT, no había tenido progresos importantes. Empezó por establecer una lista de las declinaciones magnéticas en numerosos puntos del globo, trazó el primer mapa de declinaciones (1700) con las curvas isógonas y supuso la existencia de cuatro polos magnéticos, de los cuales dos serían fijos y dos móviles. Esta teoría, que mereció a Halley cierta celebridad, no tiene ahora más que un valor histórico (1), y más interesante para nosotros es saber que el astrónomo inglés fué el primero que descubriera

(1) Esta teoría fué todavía defendida por el astrónomo CRISTOBAL HANSTEEN (Cristianía 1784-1873). Esta defensa se encuentra en sus "Investigaciones de Magnetismo Terrestre" que publicó en 1819. Dos años más tarde este mismo sabio, que era catedrático de matemáticas en su ciudad natal, descubrió la variación diurna de la intensidad magnética horizontal.

una relación entre el magnetismo terrestre y las auroras boreales. Llegó a este descubrimiento, después de observar que una aurora boreal, que, hacia 1716, se extendió sobre todo el Norte de Europa, tenía el vértice de su arco al oeste del meridiano y en la dirección de la aguja magnética.

En óptica, dió una fórmula general que establece la relación entre las distancias focales y las distancias de los puntos conjugados de los espejos y lentes esféricos. (Ecuación de Halley).

En calor, estudió muy acertadamente el punto de ebullición y la dilatación de varios líquidos, con el fin de perfeccionar el termómetro, pero aunque realizara observaciones de gran valor, no alcanzó su propósito. Halley perfeccionó el método de MARIOTTE, para medir las alturas por medio del barómetro y estableció una fórmula de esta determinación (1686).

Este trabajo de Halley es la verdadera base de los métodos de determinación de la altura por medio de la variación de la presión del aire y de su peso específico. Halley consideró que una pulgada de mercurio corresponde a 900 pies de aire, que en el nivel del mar la presión es de 30 pulgadas pero que si la altura crece en progresión aritmética, la presión del aire disminuye en progresión geométrica. Estableció así la regla siguiente: Para calcular la altura se busca la diferencia de los logaritmos de la altura barométrica de 30 pulgadas y de la altura barométrica observada expresada en pulgadas, se multiplica por 900 y se divide por 0'0144765. Esta regla de Halley no fué tomada muy en cuenta por sus contemporáneos. Seis años después de su muerte (1648), BOUGUER la volvió a utilizar. EULER, en 1769, introdujo en ella las principales correcciones relativas a las variaciones de temperatura.

Halley estudió al mismo tiempo las causas de las variaciones barométricas, que daban lugar a las más extraordinarias explicaciones, atribuyéndose ya al mercurio mismo, ya a una evaporación de capas de agua subterráneas. MARIOTTE (1676) y Halley (1685) las atribuyeron al viento.

Halley contribuyó también al establecimiento de los puntos fijos del termómetro y al estudio del calor radiante.

No nos incumbe hablar aquí de la obra astronómica que realizó, pero recordaremos que estableció una importante teoría de los Cometas que le permitió fijar para el año 1759 la vuelta del cometa observado por KEPLERO en 1607, que él había visto en 1682, que muchos recordarán haber visto en 1911 y que lleva el nombre de "Cometa Halley".

DERHAM
(1657-1735)

Influencia del viento sobre la velocidad del sonido.

GUILLERMO DERHAM era un pastor inglés, que se hizo conocer como teólogo, filósofo, físico y matemático. Nació en Stoughton, en el condado de Worcester, en 1657; estudió en Oxford; vivió en Londres, donde fué elegido miembro de la Sociedad Real; murió en 1735, en Upminster, pueblo de Essex, donde era pastor.

Son numerosas las memorias que publicó en la Sociedad Real y, entre ellas, las que más nos podrían interesar son las que tratan de acústica. Es en una de ellas, de 1705, que se encuentran los primeros datos acerca de la influencia del viento sobre la velocidad del sonido, influencia en que no creían los miembros de la Academia del Cimento, y estableció también que esta propagación es la misma en todos sentidos, cualquiera sea la intensidad y el tono del sonido.

Derham imaginó el método que empleamos corrientemente, para determinar la distancia a que estalla un rayo, midiendo el tiempo que separa la percepción de la luz del relámpago de la del sonido del trueno.

D. GREGORY
(1661-1710)

Principio de lentes acromáticas.

DAVID GREGORY, sobrino de JAIME, nació en Aberdeen en 1661 y murió en 1710 en Maidenhead, en el condado de Berks.

Fué profesor de matemáticas en Edimburgo y más tarde ocupó el mismo puesto en la Universidad de Oxford, gracias a la influencia de Newton.

Es en Oxford que publicó en 1695 sus "Elementos de catóptrica y dióptrica" en que emitió la opinión de que

" sería quizá útil formar el objetivo de una lente con
" distintos medios, como lo realizó para el ojo la na-
" turaleza, que no hace nunca nada inútil".

Esta idea fué recogida por EULER y más tarde por DOLLOND que llegó a construir así lentes acromáticas.

AMONTONS
(1663-1705)

Higroscopio de absorción. Perfeccionamientos de aparatos. Termómetro de aire. Correcciones barométricas. Frotamiento. La temperatura y la ley de BOYLE-MARIOTTE. Pirómetro.

GUILLERMO AMONTONS nació en París en 1663 y murió en la misma ciudad en 1705.

Hijo de un abogado de Normandía, demostró desde su infancia una gran vocación para las ciencias y se dice que su amor al estudio era tal que, habiéndose vuelto sordo, no quiso que le devolvieran el oído porque perturbaría el silencio propicio a la meditación.

Su primer trabajo digno de atención es el invento de un higroscopio de absorción (1687); luego los numerosos

perfeccionamientos que aportó a los termómetros, barómetros y otros instrumentos de física y meteorología lo hicieron entrar en la Academia de Ciencias (1699).

Sólo describiremos de los numerosos aparatos inventados por Amontons su termómetro de aire, el primero que no fuese al mismo tiempo un barómetro. Consistía en un tubo encorvado en cuyo extremo estaba soldado un depósito esférico de vidrio; se vertía mercurio en el tubo de modo que quedaba una cantidad de aire comprimido en la parte superior del depósito; luego se colocaba el aparato en agua hirviendo y el mercurio se elevaba en el tubo. Hasta aquí tenemos un termómetro de aire semejante a los anteriores y, como ellos, influenciado por la presión atmosférica. El mérito de Amontons consistió en no considerar la dilatación aparente del aire contenido como expresión de la temperatura, sino su tensión y con este fin expresaba la temperatura por la suma de la altura del mercurio en el termómetro con la altura barométrica en el momento de la observación (1). El inventor decía emplear el aire por considerar su dilatación más regular que la de los líquidos.

Amontons creyó ser el primero en emplear el punto de ebullición del agua como punto fijo del termómetro, en 1702; pero según BREWSTER, HOOKE lo había precedido en 1684; RENALDINI, en todo caso, lo precedió en 1694, y HALLEY (1688) y NEWTON (1701) conocían la constancia del punto de ebullición del agua, aunque no lo aplicaron al termómetro.

Amontons fué el primero en indicar, en 1695, la necesidad de las correcciones en las lecturas barométricas por causa del calor. También fué el primero en estudiar científicamente el frotamiento y estableció que éste es independiente de la superficie, pero depende de la presión (1699).

En 1702, Amontons hizo observar que la ley de BOYLE-MARIOTTE sólo es exacta cuando la temperatura es constante y expresó que esa ley podía ser expresada en la forma siguiente: Masas de aire sometidas a una misma pre-

(1) Véase POGGENDORFF, pág. 313.

sión aumentan en un mismo grado su elasticidad para un mismo aumento de calor. A temperatura constante, al aumentar la presión aumenta igualmente la elasticidad. Amontons fué pues un precursor de GAY-LUSSAC.

En 1703, construyó un pirómetro basado en el que inventara NEWTON (1701) pero en el cual los agujeros de la varilla estaban rellenos con distintos cuerpos en el orden siguiente desde la punta a colocar en la fuente de calor: polvo de vidrio, plomo, estaño y cera.

BERNOULLI
Juan (1667-1748)
Daniel (1700-1782)

JUAN I: Teoría de la elasticidad del éter. Cuerda vibrante. Expansión de los flúidos elásticos. Principio de las velocidades virtuales. Principio de la conservación de las fuerzas vivas.

DANIEL: Hidrodinámica. Vena líquida. Movimiento de los líquidos.

JUAN BERNOULLI nació en 1667 en Basilea, donde murió en 1748.

Hermano y discípulo de JACOBO, le sucedió en su cátedra en la Universidad de Basilea, donde fué profesor de EULER. Era muy amigo de LEIBNIZ, a quien defendió contra los ataques de los partidarios de NEWTON. Fué nombrado miembro de las Academias de París, Londres, Berlín y San Petersburgo. Era envidioso y orgulloso y tuvo muy graves disputas con su hermano JACOBO, que era newtoniano, mientras él era cartesiano, y aún con su propio hijo DANIEL (1700-1782), que consideró muchas veces como un rival, pues éste compartió su gloria. Tuvo dos hijos más: NICOLAS II (1695-1726), profesor de matemáticas, su hijo preferido, que murió antes de con-

quistar la celebridad (1), y el menor, JUAN II (1710-1790), su sucesor en Basilea.

JUAN II tuvo a su vez dos hijos: JUAN III (1744-1807), astrónomo y matemático en la Academia de Berlín y JACOBO II (1759-1789), que fué profesor de matemáticas de San Petersburgo pero, igual que su tío, NICOLAS II, murió joven en esa ciudad, debido al clima.



JUAN BERNOULLI

Fuera de la inmensa influencia que ejerció sobre las matemáticas, el nombre de Juan I Bernoulli se recuerda en la historia de las ciencias por los progresos que provocó en mecánica y en física.

Entre éstos no haremos más que evocar su teoría, bien cartesiana, de la elasticidad del éter, que atribuye a torbellinos de este medio; sus estudios matemáticos de las cuerdas vibrantes después de TAYLOR, y sus cálculos exactos sobre la expansión de los flúidos elásticos.

(1) Véase EULER.

En una comunicación hecha a Varignon en 1717, Bernoulli dió el primer enunciado amplio del principio de las velocidades virtuales aplicado a fuerzas de todas direcciones. Sabemos que este principio fundamental de la estática ya había sido indicado en forma limitada por VINCI, GALILEO, DESCARTES y WALLIS.

Juan Bernoulli le dió el siguiente enunciado:

> "Cuando fuerzas cualesquiera se aplican de un
> "modo cualquiera a un cuerpo y obran directa o in-
> "directamente, hay equilibrio cuando la suma de las
> "energías positivas es igual a la suma de las energías
> "negativas. Entendiéndose por energía el producto de
> "la fuerza por la proyección del desplazamiento en la
> "dirección de la fuerza y tomándose esta positiva-
> "mente o negativamente según la proyección caiga so-
> "bre la prolongación o sobre la dirección misma de
> "la fuerza".

Dió también su verdadero y amplio enunciado al teorema de la conservación de las fuerzas vivas, que se encontraba en origen en GALILEO y en la teoría de los choques de HUYGHENS y que LEIBNIZ había erigido en principio. Afirmó Bernoulli que la suma de las fuerzas vivas de cuerpos que ejercen presión unos sobre otros permanece constante y es igual a las fuerzas vivas producidas por las fuerzas en cada cuerpo.

Fué tanta la gloria que adquirió Juan Bernoulli que en su tiempo los nombres de NEWTON, Bernoulli y LEIBNIZ se pronunciaban con el mismo respeto.

Su hijo Daniel, cuya intervención citaremos frecuentemente, pues ha sometido al análisis matemático numerosos puntos de la física, dándoles precisión o aún abriendo nuevos horizontes, debe ser recordado especialmente por su obra "Hidrodinámica" publicada en 1738 y que puede ser considerada como la base de la hidrodinámica moderna. En esta obra sometió por primera vez al análisis varias observaciones, tales como la contracción de la vena líquida

que NEWTON había conocido, pero que no mencionan ni TORRICELLI, ni MERSENNE en su estudio del derrame líquido. Entre sus muchas ecuaciones y fórmulas puede recordarse la del movimiento de los líquidos en tubos de sección constante:

$$\frac{p}{\sigma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{const.}$$

siendo p la presión, σ el peso específico, v la velocidad y z la diferencia de altura del tubo con la horizontal.

Aplicó a la hidrodinámica, con grandes resultados, el principio de la conservación de las fuerzas vivas.

Afirmó que las moléculas gaseosas se mueven continuamente en línea recta y chocan entre sí como pelotas elásticas. De allí nació la idea de la teoría cinética de los gases, idea reavivada por KROENIG y CLAUSIUS.

Daniel Bernoulli fué contemporáneo, conciudadano y condiscípulo de EULER (1) y ambos se dedicaron a la misma especialidad. No es de extrañar pues que hayan tenido frecuentes discusiones científicas de las cuales algunas fueron ásperas y prolongadas, como la que provocó su estudio analítico de las vibraciones de las cuerdas, o su teoría de los tubos de órgano. Pero esta rivalidad científica entre EULER y Daniel Bernoulli no perjudicó jamás la gran amistad que unía a los dos sabios.

Daniel, contrariamente a su padre, era de una gran modestia a pesar de los triunfos de su obra extensa, y acostumbraba firmar sus publicaciones con el simple nombre de "el hijo de Juan Bernoulli".

---

(1) "Léonard Euler et ses amis". L. G. du Pasquier (Hermann. París 1927).

NEWCOMEN
(1670-1730)

Su máquina de vapor.

Hemos visto como, desde CTESIBIO y HERON hasta PAPIN y SAVERY, pasando por GERBERT, CARDAN, PORTA, CAUSS y BRANCA, los principales elementos necesarios al invento de la máquina de vapor moderna habían sido descubiertos. Pero nos hemos dado cuenta también que los esfuerzos realizados hasta entonces no habían logrado dar un verdadero motor universal para la industria.

NEWCOMEN fué quien supo reunir los elementos conocidos en su tiempo, para formar la primera máquina de vapor compuesta, de verdadero valor industrial. Su obra determina un período nuevo en la historia de esta conquista de la humanidad, y para completar la lista de los principales campeones de esta conquista, sólo nos faltaría citar aún a WATT.

Tomasio Newcomen, era un simple hojalatero y cerrajero, en la pequeña ciudad inglesa de Darmouth, donde nació en 1670 y murió en 1730. Poco se sabe acerca de su vida, y no se ha podido averiguar todavía lo que lo indujo a ocuparse de la máquina de vapor. Algunos suponen que SAVERY, que vivía a pocas leguas de Darmouth, lo encargó de la construcción de las piezas de su máquina; pero otros contestan que, no sólo no fué inspirado por SAVERY, sino que su invento es quizás anterior a la máquina de aquél. Lo cierto es que, en 1705, Newcomen solicitó patente para una nueva máquina de vapor, en sociedad con el obrero vidriero CAWLEY y con SAVERY, que tuvo que ser interesado en el negocio, pues tenía en su poder una patente que podría haber impedido la construcción de la nueva maquinaria. Antes de realizar su proyecto, Newcomen y CAWLEY se habían dirigido a HOOKE, describiéndole todos los detalles del nuevo invento, que era formado según sus propias palabras por "un

cilindro, análogo a aquel de las máquinas de PAPIN, que hace marchar una bomba separada", y este físico les contestó que su idea era completamente irrealizable y les aconsejó abandonarla.

La máquina de Newcomen, que todos conocemos, adoptó la caldera y el pistón de la máquina de PAPIN al sistema de condensación de la de SAVERY, teniendo como elementos nuevos, una palanca que comunicaba el movimiento alternativo del vástago del pistón al vástago de una bomba y una canilla colocada arriba del pistón a fin de mantenerlo cubierto por una capa de agua para impedir las huídas de vapor en el movimiento ascencional o las entradas de aire en el momento de la condensación.

Este último perfeccionamiento hizo descubrir otro, más importante, por verdadera casualidad, en 1712. El pistón de la máquina se había agujereado y un poco del agua fría penetraba en el interior del cilindro, provocando una condensación más rápida del vapor y, por consiguiente, una aceleración en el movimiento de la máquina. Newcomen aprovechó esta observación para reemplazar el método de condensación de SAVERY por un chorro de agua fría, introducido directamente en el interior del cilindro y, para retirar el agua fría así introducida, imaginó un dispositivo ingenioso: hacía comunicar por medio de un tubo, el cilindro con un depósito de agua, que se encontraba suficientemente bajo para que el tubo fuera más largo que la columna barométrica de agua, de modo que, aunque en el cilindro hubiera un vacío absoluto, la presión atmosférica ejercida sobre el agua del depósito no podía hacer volver el agua en él.

Uno de los inconvenientes que aún tenía la máquina era que se debía abrir y cerrar, después de cada movimiento del émbolo, la llave del tubo de comunicación entre la caldera y el cilindro. Newcomen y sus socios y aun sus obreros imaginaron diversos dispositivos para abrir y cerrar automáticamente esta llave y, con uno de estos últimos perfeccionamientos, llegaron a aumentar los 4 ó 5 gol-

pes de pistón por minuto de la primera máquina en 15 ó 16 golpes.

El uso de la máquina de Newcomen empezó bien pronto a aumentar y se hicieron muchas construcciones que se diferencian poco del tipo original, pero la adaptaron a usos determinados. Entre éstas merecen especial mención los tipos de FAREY, BEIGHTON y sobre todo de SMEATON, que ha sido uno de los grandes perfeccionadores de la máquina de vapor.

HADLEY
(1670-1744)

Telescopio. Sextante.

JUAN HADLEY nació en Inglaterra en 1670 y murió en 1744.

El telescopio de reflexión inventado por GREGORY y considerablemente perfeccionado por HOOKE, NEWTON y CASSEGRAIN había caído en cierto olvido cuando, en 1723, Hadley, miembro de la Sociedad Real de Londres, aportó nuevos perfeccionamientos a este instrumento, dándole sobre todo mayores proporciones.

Es de observar que, en el siglo XVIII, se prefirió el modelo de GREGORY a los de sus perfeccionadores, y Hadley abandonó el dispositivo de NEWTON para volver al de GREGORY. Siguiendo en un mismo orden de ideas, construyó, en 1731, otro instrumento de reflexión, el sextante, que lleva su nombre, pero que había sido planeado ya por NEWTON.

Poco se sabe acerca de Hadley, que fué confundido por muchos historiadores con su amigo HALLEY, por el parecido de los apellidos, o con JORGE HADLEY autor de un trabajo sobre los vientos alisios, que es considerado superior al que escribiera HALLEY.

DITTON
(1675-1715)

Capilaridad.

HUNFREDO DITTON es más conocido como matemático que como físico. Nació en Salisbury en 1675 y murió en 1715.

Siguió la carrera eclesiástica, pero abandonó la Iglesia para dedicarse exclusivamente al estudio de las ciencias exactas.

Amigo de NEWTON y protegido por él, llegó a ser profesor en Oxford, donde publicó, además de muchos trabajos matemáticos, su obra "Nueva ley de los flúidos o teoría de la ascensión de los líquidos en figuras geométricas exactas entre dos superficies contiguas".

Algunos fenómenos de capilaridad habían sido observados por PLATON y LEONARDO DE VINCI, pero sería difícil saber quien fué el primero en descubrirlos. Más tarde AGGIUNTI, (1) BORELLI, LA ACADEMIA DEL CIMENTO, FABRI, VOSS, CARDAN, BOYLE, MONTANARI se ocuparon del fenómeno, que Ditton trató de explicar en la obra que acabamos de citar.

GRAHAM
(1675-1751)

El péndulo compensador. Variaciones diarias de la declinación.

JORGE GRAHAM nació en Horsgills, en el condado de Cúmberland en 1675 y murió en Londres en 1751.

(1) FRANCISCO AGGIUNTI nació en 1600 y murió en 1635. Fué profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. Hizo interesantes observaciones y experimentos físicos sobre la resistencia de los líquidos, las soluciones y la capilaridad, varios años antes de la fundación de la Academia del Cimento, que se ocupó de los mismos puntos.

Es de observar que PASCAL no conocía la influencia de la capilaridad aunque los trabajos de Aggiunti son muy anteriores a su "Tratado del Equilibrio de los Líquidos" en el que dice que "líquidos homogéneos se elevan al mismo nivel en tubos comunicantes, cualquiera sea el diámetro de éstos."

Este célebre mecánico era hijo de gente pobre, y, a los trece años, abandonó la aldea natal y fué en busca de trabajo a la capital. El destino lo favoreció, pues consiguió ser recibido de aprendiz en el taller del célebre relojero TOMPION, que se ocupó de su educación y lo consideró como un hijo.

Construyó numerosos instrumentos científicos para los astrónomos, y de estas relaciones con sabios llegó a unir a su habilidad de mecánico, un bagaje científico suficiente para merecer el honor de ser llamado como miembro de la Sociedad Real.

Ya hemos dicho que Graham aportó varios perfeccionamientos a la construcción de los relojes entre los cuales los más conocidos son el escape de reposo para relojes de pesas, el escape de cilindro para los de bolsillo y sobre todo su péndulo de compensación.

Los relojes de péndulo empleados por los astrónomos registraban serias variaciones debidas a la dilatación de la varilla del péndulo por el calor, como lo observó PICARD en 1669. Graham pensó poder corregir este defecto por el empleo de varias varillas de metales distintos y de distintos coeficientes de dilatación, (1715) pero no alcanzó su propósito y trató entonces de aprovechar la diferencia de dilatación entre sólidos y líquidos, imaginando su célebre compensador de mercurio, en 1726.

Fué más tarde que conoció a HARRISON quién había logrado construir un péndulo compensador por medio de varillas de aleaciones distintas (1725), y Graham abandonó su propio invento, para adoptar el de su colega, creyendo que el péndulo compensador de varillas era superior al de mercurio.

Graham ha hecho también importantes descubrimientos; observó las variaciones diarias y horarias de la declinación de la aguja magnética (1722), pero se equivocó en la observación de las horas en que la declinación alcanza su máximum y su mínimum; observó también las variaciones de la inclinación (1723), pero no pudo establecer ninguna regla acerca de ellas.

MAIRAN
(1678-1771)

Causa de las variaciones barométricas. Auroras boreales. Enfriamiento por evaporación. La presión de la luz. Propagación del sonido.

JUAN JACOBO D'ORTOUS DE MAIRAN nació en Béziers en 1678 y murió en París en 1771.

Poseedor de una regular fortuna, dirigióse a París después de terminar sus estudios en Tolosa, para dedicarse al estudio de la física y de las matemáticas. En 1702, volvió a Béziers donde vivió retirado en el estudio y escribió memorias que fueron premiadas por la Academia de Burdeos y le valieron el honor de ser nombrado miembro de la Academia de Ciencias (1718).

Entre sus numerosas obras matemáticas, físicas y de ciencias naturales, nos interesan sus "Disertaciones sobre las variaciones del barómetro", publicadas en 1715 en Burdeos, su "Tratado de la aurora boreal", en París en 1733, y sus "Memorias sobre la causa del frío y del calor, la reflexión de los cuerpos y las fuerzas motrices", en París en 1741. Con la primera de estas obras, Mairan ganó el premio ofrecido por la Academia de Burdeos para la mejor explicación de las variaciones barométricas, cuestión que ya había interesado a muchos sabios como MARIOTTE, HALLEY y el mismo LEIBNIZ. Mairan atribuyó las variaciones a la velocidad del viento.

En la segunda obra, dió una teoría de la aurora boreal en que observaba que ésta se encuentra en la prolongación de la aguja de inclinación y la consideraba como una mezcla de la luz zodiacal con la atmósfera. Como recordamos, HALLEY se había ocupado de la misma cuestión en 1716.

En esta misma obra, de Mairan demuestra que era inexacta la conclusión que sacaba HOMBERG (1708) de sus experiencias tendientes a demostrar la presión que ejerce la luz de acuerdo con la teoría de NEWTON.

En la tercera obra citada, se encuentra la descripción de numerosos experimentos sobre la solidificación, la va-

porización, la cohesión y muchos otros fenómenos. Estudió así el frío producido por la evaporación, fenómeno conocido desde la más remota antigüedad pero estudiado científicamente por vez primera por G. F. CIGNA (1734-1790) en su obra "El frío por evaporación" (1760). Mairan inició pues este estudio con el siguiente experimento: colocaba dos termómetros iguales rodeando el depósito de uno de ellos con un paño húmedo, luego soplaba con un fuelle sobre los depósitos de los termómetros y observaba un descenso de temperatura de 2 grados y ¼ en el termómetro envuelto, debido a la evaporación, y un ascenso de ½ grado en el otro termómetro, debido al frotamiento del aire.

En 1719, presentó a la Academia de Ciencias, su "Discurso sobre la propagación del sonido", en que se mostraba partidario de las ideas de NEWTON sobre la propagación del sonido y trataba de explicar que, si el aire puede propagar simultáneamente sonidos de altura distinta, es porque está formado por partículas de elasticidad distinta.

Mairan gozó de mucha celebridad en su tiempo, como sabio y como escritor.

En 1740, reemplazó a FONTENELLE como secretario de la Academia de Ciencias y, tres años más tarde, ingresó también en la Academia Francesa.

WOLFF
(1679-1754)

Aurora boreal. Anemómetro de paletas. Naturaleza del calor.

El barón CRISTIAN WOLFF, célebre filósofo y matemático alemán, nació en Breslau en 1679, y murió en Halle en 1754.

Fué amigo y discípulo de LEIBNIZ, que influyó mucho sobre su formación intelectual. En 1706, fué nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Halle, pero, desterrado de Prusia bajo la acusación de ateísmo en 1723,

sólo volvió a ocupar su cátedra, casi veinte años más tarde, a instancias del nuevo rey, Federico II.

Estudió la aurora boreal, que provocó también los estudios de HALLEY, MAIRAN y muchos otros de sus contemporáneos, y llegó a la conclusión errónea de que la aurora es formada por la inflamación (de origen eléctrico) de vapores nitrosos y sulfurosos que emanan de la Tierra, mientras que los trabajos de los sabios que acabamos de citar demostraban que debía buscarse su causa en un fenómeno magnético.

Hemos visto que HOOKE inventó un anemómetro acústico en 1668. En 1709, el barón de Wolff construyó el primer anemómetro de aletas que registra la historia.

No carece de valor histórico la explicación que Wolf diera en 1720 sobre materialidad del calor y que hace figurar su nombre en este interesante capítulo de historia de ciencia en el cual ya hemos citado entre otros varios los nombres de PLATON, ARISTOTELES, KEPLERO, F. BACON, BOYLE, DESCARTES, GASSENDI, NEWTON...

Wolff admite la existencia de dos clases de poros en la materia, unos mucho más grandes que los otros, estando los más grandes llenos de aire. Las diferencias del calor específico de los cuerpos se deben a las diferencias entre sus poros. El calor está latente en los cuerpos, el movimiento lo manifiesta. La materia de calor es distinta de la materia luminosa o del fuego pues hay calor sin luz y sin fuego

---

REAUMUR
(1683-1757)

Su escala termométrica.

RENATO ANTONIO FERCHAULT DE REAUMUR, matemático, físico y naturalista francés, nació en La Rochela en 1683 y murió en 1757.

Su padre, que era magistrado, quería hacerle seguir la misma carrera, pero no se opuso a su deseo de consagrar-

se al estudio de las matemáticas, pues reconoció sus extraordinarias disposiciones. Tenía veinticinco años cuando sus primeros trabajos fueron tan apreciados por la Academia de ciencias que fué elegido miembro de esa sociedad. Casi en la misma época, abandonó las matemáticas y se dedicó al estudio de las ciencias naturales, en las que fué pronto considerado como el sabio más erudito de Francia.

Reaumur hizo numerosos e importantes descubrimientos en zoología, mineralogía y botánica y supo tan felizmente poner sus conocimientos al servicio de la industria, que su patria debe recordarlo como uno de sus grandes bienhechores. Descubrió el secreto de la fabricación del acero, de la hojalata y de la porcelana, monopolizadas por países extranjeros, y permitió así a Francia realizar enormes economías e independizarse industrialmente de sus vecinos.

Se ocupó, aunque con poco resultado, de la incubación artificial de los huevos, problema resuelto muchos siglos atrás en Egipto y China, pero que no había encontrado solución en Europa, a pesar de los esfuerzos de sabios de la antigüedad como ARISTOTELES y del siglo XVII como FERNANDO MEDICIS y PABLO BUONO.

En física, su nombre está íntimamente unido a los progresos de la termometría, pues se le debe uno de los primeros termómetros de graduación verdaderamente práctica (graduación Reaumur). Reaumur dividió su escala en 80 partes, porque el alcohol rebajado que empleaba en su termómetro se dilataba de 80 milésimos de su volumen al pasar de la temperatura de fusión del hielo a la de ebullición del agua y así cada grado corresponde a una dilatación del alcohol de 1 milésimo de su volumen. Esta división es, por consiguiente, menos arbitraria que la que eligió el sabio sueco CELSIO.

Debe hacerse notar aquí, que FAHRENHEIT construyó su primer termómetro en 1713, Reaumur hizo otro tanto en 1730 y CELSIO en 1742.

TAYLOR
(1685-1731)

Curva de capilaridad. Adherencia. Fórmula de las cuerdas vibrantes.

BROOK TAYLOR nació en Edmonton, en Middlesex, en 1685 y murió en Londres en 1731.

Este célebre matemático inglés realizó trabajos originales en filosofía, ciencias naturales y física. De esta última ciencia publicó varias obras entre las cuales recordaremos su "Memoria sobre los centros de oscilación" (1713), "Memoria sobre la ascensión de los líquidos entre dos superficies planas" (1712) y "Memorias sobre el problema de la cuerda vibrante" (1713) que presentó a la Sociedad Real de Londres, de la que formaba parte desde 1712. La primera de las obras citadas relata interesantes experimentos, sin aportar sin embargo hechos muy nuevos. En la segunda demuestra que la curva formada por el agua que se eleva por capilaridad entre dos láminas es un hipérbola equilátera, y describe un experimento para determinar el valor de la adhernecia, que consiste en suspender una lámina del sólido estudiado en el brazo de una balanza, establecer el equilibrio, descansar la lámina sobre la superficie del líquido y agregar pesas en el otro platillo hasta vencer la fuerza de adherencia. Descubrió así que el peso necesario es proporcional a la superficie de la lámina.

Más importante es su estudio de las cuerdas vibrantes. Establece por el cálculo, el número de vibraciones de una cuerda para una tensión determinada, por la fórmula:

$$n = \sqrt{\frac{g.\ p}{l.\ q}}$$

en que g es la gravedad, P la tensión de la cuerda, l su longitud y q su peso.

Pero como $q = \pi r^2 l d$, siendo r el radio de la sección transversal y d el peso específico de la cuerda:

$$n = \frac{1}{r\,l} \sqrt{\frac{g\,p}{\pi\,d}} \quad (1)$$

Este descubrimiento, realizado por Taylor en 1713 y que contiene las leyes enunciadas por MERSENNE en 1636, encabeza, con la obra de SAUVEUR (1701) que hemos visto, la lista de los grandes descubrimientos de acústica iniciados en el siglo XVIII y realizados por matemáticos como JUAN y DANIEL BERNOULLI, D'ALEMBERT, LAGRANGE, EULER, RICCATI, ZANOTTI, LAME, DARBOUX, PICARD, etc.

TAYLOR estudió también, aunque sin mayor resultado, la atracción magnética y la dilatación de los líquidos en los termómetros.

En matemáticas, es justamente célebre, pues fué un digno continuador de LEIBNIZ y de NEWTON, y la "Serie de Taylor" (1712) es de importancia capital en el cálculo infinitesimal.

GRAVESANDE
(1688-1742)

Anillo de Gravesande. Helióstato. Cámara oscura. Compresibilidad de los gases. Elasticidad de tracción.

GUILLERMO JACOBO S'GRAVESANDE nació en Bois-le-Duc (Brabante Holandés) en 1688 y murió en 1742, en Leyden, en cuya Universidad era profesor desde 1717.

Se ocupó de matemáticas y de filosofía y, sin ser autor de ningún sistema original, supo reunir con sumo acierto las ideas de los grandes maestros: GALILEO, NEWTON, LEIBNITZ y DESCARTES.

En física, su extraordinaria actividad fué sumamente provechosa. Se le deben numerosos aparatos experimenta-

(1) Véase Física de CHWOLSON, tomo III, pág. 102.

les, tan ingeniosos como el famoso "Anillo de Gravesande" y el helióstato, cuya primera idea se debe a BORELLI.



GRAVESANDE

A la par de muchos de sus contemporáneos y como su compatriota MUSSCHENBROEK, Gravesande quiso demostrar la existencia del "calórico", este flúido material y ponderable a que se atribuían todos los fenómenos del calor.

Perfeccionó la cámara obscura que hizo portátil como también lo hiciera el abate NOLLET; y merecen recordarse en fin sus investigaciones sobre la compresibilidad de los gases, su perfeccionamiento de la máquina neumática haciendo automático el movimiento de las llaves, y su estudio de la elasticidad de tracción (1734), cuestión ésta de la que parece haber sido el primero en ocuparse científicamente.

Gravesande fué el primero también en defender las ideas de NEWTON en Holanda, pero esto no le impidió escribir una "Disertación" sobre la fuerza viva y el choque, en que defiende las ideas de LEIBNIZ.

FAHRENHEIT
(1690-1740)

Escala termométrica. Sobrefusión. Areómetro.

DANIEL GABRIEL FAHRENHEIT nació en Dantzig en 1690 y murió en Holanda en 1740, fué pués contemporáneo de REAUMUR y de CELSIO, cuyos nombres acuden naturalmente al espíritu conjuntamente con el suyo. A los once años fué enviado por sus padres a Holanda para dedicarse al comercio, pero prefirió el estudio de la física y con este propósito viajó por Francia e Inglaterra, ampliando sus conocimientos, y volvió a instalarse en Holanda, donde tenía dos grandes amigos: S'GRAVESANDE y BOERHAAVE. (1)

Se hizo célebre por la construcción de sus termómetros cuya exactitud maravillaba a los físicos, que se admiraban de ver cómo coincidían en sus indicaciones. Entre estos debemos citar a C. WOLFF, quien publicó la obra de Fahrenheit en 1713.

Empezó por emplear el alcohol, pero lo reemplazó por el mercurio, hacia 1720. Empleó varias escalas termométricas distintas, pero al final eligió la que tenía por puntos fijos la temperatura de una mezcla de hielo y sal amoníaco, la temperatura de fusión del hielo y la del cuerpo humano que correspondían respectivamente a los puntos 0.32 y 96 de su graduación. Sabía que el punto de ebullición del agua es constante, pues conocía los trabajos de AMONTONS, y estableció en su graduación el grado 212, que corresponde a esa temperatura, llevándola además hasta el 600, que corresponde a la ebullición del mercurio.

Los perfeccionamientos que aportó a la termometría, indujeron a Fahrenheit a hacer observaciones sobre el calor

(1) ARMANDO BOERHAAVE nació cerca de Leyden en 1668 y murió en 1738. Eminente naturalista y médico holandés, estudió y enseñó en Leyden, de cuya Universidad fué dos veces rector (1714 y 1730). En física, cometió el error de creer que el termómetro mide el calor absoluto de un cuerpo, como lo creyeron RENALDINI y otros físicos del tiempo.

y particularmente sobre los puntos de ebullición de varios líquidos y las causas de su variación. Observó así el fenómeno de sobrefusión en los líquidos de gran inmobilidad y la influencia de la presión atmosférica sobre el punto de ebullición.

Fahrenheit es también inventor de un areómetro de volúmen constante. (1727)

Hemos hablado del areómetro al estudiar a BOYLE. Nos detendremos de nuevo en su historia. El primer areómetro fué sin duda alguna el de volúmen variable que ARQUIMEDES inventó como simple aplicación de sus leyes de hidrostática.

Algunos autores atribuyeron su invento a HIPATIA (1), que vivió más de seis siglos después, por haberse encontrado una carta que dirigía esta célebre mujer a uno de sus discípulos, SINESIO, obispo de Ptolemais, en que decía:

" Estoy tan enferma que necesito un hidroscopio.
" Le ruego hacerme hacer uno en cobre y comprármelo.
" Es un tubo en forma de cilindro que tiene el tamaño
" y la forma de un silbato, lleva a lo largo una línea rec-
" ta cortada por pequeñas rayas transversales y por ellas
" juzgamos del peso de las aguas. Uno de los extremos
" está cubierto por un cono de tal modo que el tubo y el
" cono tienen la misma base. Si se pone este instrumen-
" to de punta en el agua, queda parado y se puede fácil-
" mente contar las divisiones que cortan la línea recta
" y así se conoce la densidad del agua..."

---

(1) HIPATIA nació en Alejandría de 370 a 380 de nuestra era y murió en 415. Hija de Teón, célebre matemático, recibió de su padre una profunda educación que completó en Atenas con las lecciones de los más grandes filósofos de su tiempo. Enseñó entonces filosofía en su ciudad natal y entre sus numerosos discípulos contaba a SINESIO DE CIRENE. Los cristianos de Alejandría, instigados por su arzobispo San Cirilo, celoso de la influencia cada vez mayor que la filósofa pagana adquiría en la política de Egipto, se apoderaron de Hipatía, la desnudaron, la lapidaron, arrastraron su cuerpo por las calles y lo entregaron a las llamas.

Aunque esta sea una de las mejores descripciones que se hayan encontrado, las hay muy anteriores, y desde el tiempo de ARQUIMEDES, lo que hace suponer que fué el gran siciliano quien inventó este aparato. La carta de HIPATIA nos demuestra que los médicos egipcios usaban el areómetro de volúmen variable, como más tarde lo hacían los árabes, para medir la densidad de los líquidos y quizá, también como estos, para determinar así, su temperatura.

El areómetro de volumen constante y peso variable reapareció en el siglo XVII, con el doctor francés MONCONNYS, y con la Academia del Cimento. Era de vidrio y llevaba en su fondo chumbos de plomo o mercurio para que quedara en una posición vertical en el líquido; sobre el tubo una cuenta de vidrio soldada servía de señal de enrase y para conseguir el hundimiento del aparato hasta esta señal se pasaban pesas en forma de anillos, alrededor del tubo. BOYLE hizo un areómetro de peso constante y volumen variable. HOOKE, en 1677, presentó un areómetro que consistía en un globo de vidrio suspendido de uno de los platillos de una balanza. En 1714, el padre FEUILLEE (1) inventó un areómetro parecido al de la Academia del Cimento pero en que las pesas, en forma de anillos, no penetraban en el líquido. En 1727, en fin, Fahrenheit presentó el areómetro con platillo para las pesas, que todos conocemos.

Fahrenheit no ha sido, pues, el inventor del areómetro de peso variable, sino su principal perfeccionador. Al lado de su nombre recordaremos los de NICHOLSON (2), que en 1787 imaginó el areómetro o gravímetro para líqui-

---

(1) PADRE FEUILLE (Provenza 1660-Marsella 1732) astrónomo, meteorólogo y botánico. Realizó tres viajes a América del Sur (1699-1703-1707) para determinar la posición astronómica de diversos puntos y estudiar la flora americana. Hizo interesantes observaciones de magnetismo terrestre.

(2) NICHOLSON (Londres 1753-1815) era director de un establecimiento de enseñanza, pero sus experimentos de física y química lo arruinaron y fué encarcelado por deudas. Más que por su areómetro, Nicholson debe ser recordado por haber sido uno de los primeros en reconocer la acción química de la pila de VOLTA y por haber hecho, en 1801, la descomposición del agua por la corriente.

dos y sólidos, y a BAUME (1), que nos dió el primer areómetro moderno de peso constante.

LEROY
(1686-1759)

Cronómetros.

JULIAN LEROY merece ser recordado en esta galería de físicos, como lo merecen TOMPION y BREGUET, por la gran ayuda que prestaron a los sabios con sus aparatos de alta precisión.

Julián Leroy nació en Tours en 1686 y murió en París en 1759. Fué tan hábil relojero y mecánico que arrebató a sus competidores ingleses su fama de superioridad. Sus hijos también fueron célebres: PEDRO (1717-1785) continuó la obra de su padre; JUAN BAUTISTA (París 1719-1800) fué físico, inventó una máquina eléctrica y perteneció a la Academia de Ciencias, desde 1751; CARLOS (2) (París 1726-1779) fué médico en Montpellier; JUAN DAVID (París 1728-1803) era arquitecto.

BRADLEY
(1692-1762)

El astrónomo inglés doctor JACOBO BRADLEY nació en Sherbourn (condado de Glocester) en 1692 y murió en Chalford en 1762.

---

(1) ANTONIO BAUME (Senlis 1728-1804). Hijo de un pobre posadero de provincia, llegó a ser boticario, luego profesor de la Escuela de Farmacia y miembro de la Academia de Ciencias, en 1773. Presentó a esta sociedad numerosas memorias sobre cristalización, fermentación, congelación y otras de química industrial. El único reproche que puede hacerse a este tesonero sabio es el de haber sido demasiado fiel a la teoría del flogisto de STAHL, en oposición a la teoría de la combustión de LAVOISIER.

(2) No debe ser confundido con CARLOS F. A. LEROY (París 1780-1854), célebre matemático.

Estudió teología en Oxford y fué ministro protestante en Bridstow y Welfrie durante algunos años; pero, en 1721, fué nombrado profesor de la Universidad de Oxford en reemplazo de KEILL, tres años después de haber sido admitido en la Sociedad Real de Londres. En 1742, reemplazó a HALLEY en la dirección del observatorio de Greenwich.

NEWTON consideraba a Bradley como el mejor astrónomo de Europa, sin duda por sus importantes observaciones sobre los satélites de Júpiter, el diámetro de Venus (1722) y las estrellas dobles y por su descubrimiento de la nutación del eje terrestre (1747).

Desde el punto de vista de la física, más nos interesa su descubrimiento de la aberración de la luz (1727), o sea la variación de la posición aparente de las estrellas debida al movimiento de la tierra. DESCARTES había previsto, si se quiere, la posibilidad teórica de la aberración, pues decía que la prueba de la instantaneidad de la propagación de la luz es que "no se observaba" un movimiento aparente de las estrellas fijas, como debiera ocurrir si la velocidad de la luz fuera finita. Bradley explicó su descubrimiento en una carta a HALLEY, en los términos siguientes:

"Un anteojo no da la verdadera posición de la " estrella sino cuando el movimiento de la tierra coin- " cide con la dirección de la luz que proviene de la " estrella. En el caso contrario, el anteojo debe ser in- " clinado en el sentido del movimiento de la tierra, para " que la luz penetre en la dirección de su eje. Esta " desviación es la mayor posible cuando los dos mo- " vimientos son perpendiculares entre sí; es nula cuan- " do las direcciones de los movimientos coinciden".

Bradley encontró en la aberración un nuevo método astronómico de medida de la velocidad de la luz:

"Como la tierra en su revolución alrededor del sol " cambia continuamente de dirección, el anteojo debe " sufrir los cambios de posición correspondientes y to-

" do ocurre como si la estrella cambiara periódicamente
" de posición. Si la velocidad de traslación de la tie-
"rra fuera bastante pequeña con relación a la de la
" luz, el fenómeno no sería sensible, pero como lo es,
" las dos son comparables y se ha podido, en efecto,
" deducir así la velocidad de la luz".

En esta medición Bradley obtuvo el resultado de 298.200 kilómetros por segundo.

MUSSCHENBROEK
(1692-1761)

Su pirómetro. Balanza, Capilaridad, Calórico, Cohesión, Magnetismo... Su colaboración al invento y estudio de la Botella de Leyden.

PEDRO VAN MUSSCHENBROEK nació en Leyden en 1692 y murió en 1761, en esa misma ciudad, donde era profesor de matemáticas y física desde 1740, después de haber ocupado las mismas cátedras en Duisburgo (Prusia) en 1719 y en Utrecht (1723).

Musschenbroek era médico, pero se preocupó especialmente de ciencias, después de haber sido discípulo y amigo de sus compatriotas BOERHAAVE y GRAVESANDE y de haber conocido a NEWTON, durante una estada en Inglaterra.

Se ocupó del "calórico" y, en el curso de interesantes experimentos sobre la dilatación, inventó un pirómetro, posterior a los pirómetros de NEWTON (1701) y de AMONTONS (1703) que ya hemos visto, pero anterior a los modelos de ELLICOT (1), BOUGUER, SMEATON, NO-

(1) ELLICOT, físico inglés, miembro de la Sociedad Real, explicó en 1739, la "simpatía" que provoca el sincronismo de los péndulos próximos unos a otros, que HUYGHENS había descubierto en 1665, y demostró que el movimiento no era comunicado por el aire como lo creía

LLET, GUYTON DE MORVEAU, WEDGWOOD (1), y BRONGNIART (2) y muchos otros más modernos como los de LE CHATELIER (3) y PIONCHON (4), para no citar aquí más que los modelos basados en la dilatación o contracción de los sólidos, como el del sabio holandés que



MUSSCHENBROEK

HUYGHENS, sino por las vibraciones de los soportes de los péndulos. Mientras GRAY, DUFAY, WAITZ y CANTON perfeccionaban el electrómetro, Ellicot prefería medir la atracción eléctrica por medio de la balanza.

(1) JOSIAS WEDGWOOD (Burslem 1730-1795) era fabricante de porcelana. Su conocido pirómetro de arcilla tiene el defecto de ser influenciado no sólo por la temperatura sino también por la duración de calda.

(2) ANTONIO BRONGNIART (París 1740-1810), físico y químico francés, profesor del Museo de Historia Natural y apoticario de Luis XVI. Su sobrino ALEJANDRO BRONGNIART (1770-1847) fué un célebre naturalista y químico y ADOLFO BRONGNIART (1801-1876) hijo de Alejandro, fué un gran botánico.

(3) ENRIQUE LE CHATELIER (París 1850-¿?), ingeniero y químico, inventó un pirómetro termoeléctrico y varios otros aparatos de física. Su padre, LUIS LE CHATELIER (1815-1873), fué también un ingeniero de fama.

(4) PIONCHON (nació en París en 1859). Fué profesor en Burdeos y en Grenoble.

se diferenciaba así de los de NEWTON y de AMONTONS.

Musschenbroek se ocupó del perfeccionamiento de la balanza; de la confirmación de los experimentos de la Academia del Cimento sobre la no compresibilidad de los líquidos, del calórico, de la cohesión, del pirómetro, de capilaridad y de magnetismo, y fué uno de los principales propagadores de las teorías de NEWTON en Holanda; pero e pesar de todos esos méritos su nombre se recuerda especialmente por su participación en el invento de la botella de Leyden.

A principios del siglo XVIII, se empezaron a perfeccionar las máquinas electrostáticas cuya lista podría ser encabezada, si no por el ámbar de TALES, al menos por la esfera de azufre de OTTO DE GUERICKE. En 1745, cuando VON KLEIST, deán de la catedral de Kammin (Pomerania), descubrió el fenómeno de condensación de la electricidad por inducción, ya se empleaban máquinas bastante perfeccionadas, con cilindros de vidrio y almohadillas. No se sabe con qué idea o si fué por casualidad que VON KLEIST puso en contacto con una máquina eléctrica un aparato formado por un frasco con un clavo atravesando el tapón; pero lo cierto es que después de haber acercado el aparato a la máquina, el eclesiástico alemán quiso sacar el clavo y experimentó un violento sacudimiento, que atribuyó no a la descarga del condensador, sino a algún fenómeno fisiológico. Repitió el experimento, poniendo agua o mercurio en el frasco, y observó que de este modo se aumentaba la intensidad del fenómeno. Este experimento se realizó casi en la misma época en Holanda, sin que se pueda establecer que las observaciones de VON KLEIST hayan sido difundidas a ese país, aunque es de presumir que ocurrió así pues VON KLEIST comunicó su descubrimiento a LIEBERKUHN, de la Academia de Berlín, quien lo comunicó de inmediato a dicha corporación científica.

Van Musschenbroek emitió la cándida idea de que, para mantener el flúido eléctrico en un cuerpo, bastaría con encerrarlo en un frasco. Uno de sus discípulos, un cierto

CUNAEUS, llenó un frasco con agua, introdujo en el tapón un hilo conductor y electrizó el agua por medio de la máquina; luego quiso retirar el hilo y recibió una fuerte descarga en el brazo y el pecho.

Musschenbroek repitió el experimento con sobrado éxito, pues describiendo epistolarmente a REAUMUR su observación le manifestaba no estar dispuesto a repetir la prueba "aunque le ofrecieran la corona de Francia".

REAUMUR comunicó la carta del sabio holandés al ABATE NOLLET, quien dió erróneamente al condensador así descubierto el nombre de "Botella de Leyden". Musschenbroek debió principalmente su celebridad a esta interesante observación y bien pronto figuró en las principales sociedades científicas europeas, como las Academias de Ciencias de París, de San Petesburgo, Berlín, Montepellier y la Sociedad Real de Londres.

"La Botella de Leyden" interesó enormemente el mundo científico y fueron muchos los sabios que se abocaron a su estudio (1). WINKLER (2) y GRALATH (3) en Alemania realizaron interesantes experimentos, que los llevaron independientemente a disponer varias botellas en batería. WINKLER imaginó cubrir la parte exterior de la botella con una lámina de estaño; GRALATH, que no empleaba este dispositivo, descubrió así como WINKLER que la botella no se descarga en una sola vez, pero conserva una pequeña carga (carga resídua).

NOLLET y LUIS LE MONNIER (4) realizaron

---

(1) Véase FIGUIER: "Merveilles de la Science", T. I, pág. 460.

(2) WINKLER (Lusacia 1703-Leipzig 1770). Profesor en la Universidad de Leipzig. Perfeccionó la máquina eléctrica, inventando las almohadillas de frotamiento. Estudió la electricidad atmosférica después de FRANKLIN, pero parece haber sospechado la naturaleza eléctrica del rayo antes que éste.

(3) GRALATH (1739-1809). Profesor en el Liceo de Dantzig. Defendió los derechos de GUERICKE al descubrimiento de varios fenómenos eléctricos que se atribuyen a otros físicos. (Véase GUERICKE). Utilizó, como ELLICOT, la balanza para medir la tensión eléctrica.

(4) LUIS GUILLERMO LE MONNIER (París 1717-Montreuil 1799) era hermano de Pedro Carlos, acompañante de Maupertius. Fué profesor de botánica del Jardín del Rey bajo Luis XV y médico de Luis XVI. Demostró la existencia de la electricidad atmosférica aún en tiempo sereno.

importantes experimentos en Francia. LE MONNIER (1746) estudió detalladamente las mejores condiciones de funcionamiento de la botella y trató de medir la velocidad de propagación de la electricidad de su descarga en un hilo de unos dos kilómetros de largo y concluyó que: "en un alambre, la velocidad de la electricidad es al menos 30 veces mayor que la velocidad del sonido".

En Inglaterra, una comisión de sabios de la Sociedad Real, en que figuraban CAVENDISH, WATSON (1) y BEVIS (2), realizó estudios con la botella de Leyden, y a ellos deben agregarse las investigaciones de BENJAMIN WILSON (3) (1747).

WATSON, en experimentos que Musschenbroek llamaba "maravillosos", repitió el experimento de LE MONNIER y consideró la propagación de la electricidad como de velocidad inconmensurable. BEVIS perfeccionó la construcción de la botella, inspirado en parte por observaciones de WATSON; le agregó la armādura metálica exterior y reemplazó el agua por chumbos de plomo. BEVIS construyó también un condensador, aplicando en cada cara de un vidrio de ventana, una lámina de estaño.

Pero WATSON y BEVIS parecen obrar por tanteo, sin explicar la razón de los perfeccionamientos que realizan. WILSON al contrario, escribió a SMEATON que había descubierto la ley de la botella de Leyden: la electricidad es proporcional a la superficie de los conductores e inversamente proporcional al espesor del vidrio.

---

(1) GUILLERMO WATSON (1715-1787), farmacéutico y médico. Inventó una máquina eléctrica que no ofrece ninguna originalidad. Creyó reconocer la turmalina en el "linkurión" de Teofrasto.

(2) Doctor BEVIS. Se conocen pocos datos biográficos acerca de él. (¿1695-1771?).

(3) BENJAMIN WILSON inventó el molinillo eléctrico. perfeccionó la máquina eléctrica (1746) agregando al conductor un peine colector de electricidad; comprobó los experimentos de ÆPINUS sobre la electrificación de la turmalina al calentarla y observó la misma propiedad en la esmeralda del Brasil (1759); se oponía al empleo de los pararrayos de punta y proponía los que terminan en una esfera, discutiendo esta cuestión con WATSON.

Después de estos trabajos debemos pasar inmediatamente al estudio de los trabajos de FRANKLIN, que arrojaron mayor luz sobre estos fenómenos; y, adelantándonos algo más, debemos decir que, en 1770, CAVENDISH descubrió la influencia del dieléctrico sobre la carga del condensador, que este descubrimiento quedó inédito hasta que MAXWELL, en 1879, publicara los manuscrito de CAVENDISH, y que, antes de esa publicación, FARADAY, en 1838, había vuelto a descubrir esa influencia.

HARRISON
(1693-1776)

El péndulo compensador de parrilla. Sus cronómetros.

JUAN HARRISON, el célebre relojero, nació en Foulby (Condado de York) en 1693 y murió en Londres en 1776.

Hijo de un pobre carpintero, Harrison empezó su carrera científica como simple relojero en su pueblo natal. En su pequeño taller imaginó varios perfeccionamientos de los relojes e inventó el péndulo compensador de parrilla, que consideraba bastante perfecto para ser utilizado en la determinación de las longitudes geográficas, en alta mar (1726).

En 1728 llevó su invento a Londres y lo mostró a HALLEY, quien le aconsejó entrevistarse con GRAHAM, pues este hábil relojero ya había inventado el péndulo compensador de mercurio. GRAHAM, ya lo hemos visto, había fracasado en sus intentos de construir un péndulo de parrilla y cuando vió que Harrison había solucionado el problema, abandonó con magnífico desinterés, su propio invento para adoptar el de su colega. Cometió así una injusticia hacia sí mismo, pues el compensador de GRAHAM, tanto como el de Harrison, se emplea en los observatorios.

El cronómetro que había inventado Harrison no tuvo menos éxito que el péndulo, sobre todo después de la prueba

que se realizó con una travesía de Portsmouth a Lisboa y vice-versa, en que el cronómetro permitió determinar medidas de longitudes idénticas en los dos viajes. Este resultado, largo tiempo esperado por los marinos ingleses, dió mucha celebridad a Harrison, que recibió valiosos premios y, entre ellos, una recompensa de diez mil libras del Parlamento, que decidió premiar al mismo tiempo a los que como EULER y TOBIAS MAYER (1), determinaban longitudes geográficas por medios astronómicos.

Harrison continuó, durante toda su larga vida, su serie de perfeccionamientos del cronómetro y su hijo se encargaba de la observación de estos aparatos, en largos viajes marítimos.

DU FAY
(1698-1739)

Teoría de las dos electricidades. Cuerpos conductores y aisladores. Atracción y repulsión. Fosforescencia. Doble refracción.

Con el sabio francés, CARLOS FRANCISCO DE CISTERNAY DUFAY, volvemos a ocuparnos de la electricidad, que hasta el siglo XVIII, casi no había sido estudiada científicamente, pero más bien simplemente observada y atribuída a causas fantásticas. Ya hemos visto como en el siglo XVI, GILBERT diferenció el magnetismo de la electricidad, introdujo la palabra "electricitas", descubrió la propiedad eléctrica en muchos cuerpos y realizó numerosas observaciones interesantes. En el siglo XVII, he-

(1) TOBIAS MAYER (Marbach, Wurtemburgo 1723-Gotinga 1762) fué uno de los más grandes astrónomos de la historia. El Parlamento inglés premió sus "Tablas de la Luna". Explicó la ley de enfriamiento de NEWTON en forma amplia. Estuvo en relación con LAMBERT a quien animó en sus estudios. Fué como MICHELL, D. BERNOULLI y PRIESTLEY, un precursor de COULOMB en el establecimiento de la ley de las atracciones magnéticas.

mos visto a OTTO DE GUERICKE hacer observaciones valiosas y construir una máquina electrostática elemental cuyas chispas observó; hemos recordado que BOYLE, la ACADEMIA DEL CIMENTO y NEWTON hicieron más observaciones sin sacar mayores consecuencias, y que DESCARTES y GASSENDI emitieron teorías que no hicieron realizar progreso alguno en el estudio de la electricidad.

A principio del siglo XVIII deben recordarse los trabajos del DOCTOR WALL, de HAWKSBEE y de GRAY.

El DOCTOR WALL reprodujo, en 1698, los experimentos de GUERICKE, pero llegó a producir una chispa suficiente para sentir un especie de soplo, observar el fulgor y experimentar un pequeño choque en la mano, lo que le hizo afirmar, en 1708, que: "La luz y el estrépito de los cuerpos electrizados parecen, hasta cierto punto, representar el trueno y los relámpagos". Es esta la primera afirmación clara acerca de la identidad entre el rayo y la descarga eléctrica.

HAWKSBEE, eminente físico, activo miembro de la Sociedad Real de Londres, acerca de quien se conocen pocos datos biográficos, ignorándose hasta las fechas de su nacimiento y muerte, publicó, en 1709, sus "Experimentos de física y mecánica, sobre la luz y la electricidad producibles por el frotamiento de los cuerpos".

En esta obra se encuentran numerosas observaciones interesantes. HAWKSBEE atribuye a la electricidad los fulgores producidos en el vacío por el mercurio del barómetro (1), mientras los sabios de la época daban de este fenómeno las explicaciones las más diversas. Construyó una máquina electrostática parecida a la de GUERICKE, en

(1) Este fenómeno había sido observado por PICARD en 1675 y era atribuído generalmente al "fósforo mercurial" o al "fuego devuelto por el mercurio". Muchos sabios se ocuparon del punto; POGGENDORFF cita a: CASSINI, JUAN BERNOULLI (1700-1719), MUSSCHENBROEK (1706), DUTAL (1706), HAWKSBEE (1708), HARTSOEKER (1710), WEIDLER (1715), LIEBKNECHT (1716), HEUSINGER (1716), MAIRAN (1717), DU FAY (1723), DELUC (1762).

que el globo era de vidrio en lugar de azufre; descubrió la condensabilidad de los gases rarefecados y que la electricidad se reparte sólo en la superficie de los cuerpos.

La obra de HAWKSBEE (1) tiene el mérito de haber considerado por primera vez el estudio de la electricidad como una parte importante de la física, pero no logró interesar al mundo científico sino por breve tiempo.

Veinte años más tarde, ESTEBAN GRAY (véase su biografía) volvió a ocuparse de electricidad y, más feliz que su compatricta HAWKSBEE, sus observaciones y experimentos provocaron admiración y entusiasmo en muchos físicos, entre los cuales ocupa un lugar predominante Dufay.

Este sabio nació en 1698 en París, donde murió en 1739. Era hijo de un oficial de la guardia y, a los catorce años, adoptando la carrera de su padre, ingresó a la Escuela Militar; llegó a ser capitán, participó en varias batallas de la guerra de Sucesión de España, pero, poco después de la paz de Utrecht, abandonó el ejército, para ocuparse sólo de química y magnetismo en cuyo estudio habíase ya conquistado cierta celebridad. En 1733, entró en la Academia de Ciencias y publicó ocho memorias sobre electricidad que son toda su gloria, a pesar de otros interesantes trabajos de geometría, astronomía, mecánica y ciencias naturales.

Mientras tanto, GRAY, cuyos trabajos hicieron que Dufay se interesara por los estudios de la electricidad, no vió con desagrado el éxito de su colega francés. Al contrario, púsose en contacto con él, y hasta podría decirse que trabajaron juntos, pues nunca dejaron de comunicarse los resultados de sus investigaciones con toda franqueza y sinceridad, preocupándose únicamente del progreso de la ciencia.

GRAY había dividido los cuerpos en buenos y malos conductores de la electricidad. Dufay demostró que los buenos conductores no se electrizan por frotamiento ya que sólo lo hacen los malos conductores o "aisladores".

(1) HAWKSBEE se ocupó también de capilaridad.

Dufay repitió muchos de los experimentos de GRAY, como el que consistía en electrizar a un niño que se aislaba suspendiéndolo por medio de hilos de seda, y llegó aún a hacer salir chispas de su cuerpo al acercarle el dedo. Inútil es decir la admiración que despertaban estos experimentos, que parecían, en aquella época, verdaderamente fantásticos.

Dufay se detuvo en la observación de la atracción y la repulsión, descubriendo que un cuerpo es repelido después de haber estado en contacto con el cuerpo electrizado. Observó que un cuerpo repelido por el vidrio es atraído por el lacre y vice-versa, y dedujo de esto que existen dos electricidades contrarias: la "electricidad vítrea" y la "electricidad resinosa". Esta teoría de las dos electricidades ha sido conservada por la ciencia hasta 1870 aproximadamente y aún se conserva en la física elemental. Veamos en que términos Dufay nos explica la teoría:

> "La casualidad me ha presentado otro principio
> " más universal y más notable, y que arroja nueva luz
> " sobre el estudio de la electricidad. Este principio es
> " que hay dos clases de electricidad muy distintas una
> " de otra: una la llamo electricidad vítrea y la otra
> " resinosa. La primera es la del vidrio, del cristal de
> " roca, de las piedras preciosas, del pelo de los anima-
> " les, de la lana y muchos otros cuerpos. La segunda
> " es la del ámbar, de la goma copal, de la goma laca,
> " de la seda, del hilo, del papel y gran número de otras
> " substancias. El carácter de estas dos electricidades es
> " de repelerse entre sí y atraerse una a otra..."

Además de sus importantes trabajos de electricidad, debe recordarse que Dufay hizo otros interesantes trabajos de física.

Se ocupó mucho de los fenómenos de fosforescencia que habían sido observados ya en la antigüedad por ARISTOTELES en la madera podrida, las escamas de pescado, la carne, etc... y en la Edad Media por ALBERTO EL GRANDE en el diamante. En el siglo XVII se había ob-

servado que el mineral de barita "lapis bononiensis" (piedra de Bolonia) emite irradiaciones después de ser expuesto a la luz solar, y KIRSCHER, BOYLE, MARSIGLI, habían hecho observaciones sobre fosforescencia tanto de origen inorgánico como orgánico. El sajón BALDUIN fabricó un fósforo artificial en 1675, y BRANDT descubrió el verdadero fósforo en la orina, agregándose a estos estudios químicos ciertas observaciones físicas sobre duración de la fosforescencia por SLARE (1682) y sobre la influencia de la luz y de los distintos colores del espectro sobre materias fosforescentes por ZANOTTI (1731). Dufay, de 1734 a 1736, realizó numerosas experiencias y descubrió la fosforescencia en muchos minerales: el mármol, la piedra de cal, la esmeralda y otras piedras preciosas.

Dufay hizo numerosas observaciones de magnetismo, pero éstas no agregan mucho a la obra de GILBERT. En 1739, en fin, año de su muerte, se dedicó al estudio de la doble refracción y realizó así el trabajo más importante que sobre este punto se hiciera desde la obra de HUYGHENS y durante el siglo XVIII, sin que esto signifique que aportara progresos trascendentales al respecto. Demostró que muchos cristales, además del espato de Islandia y el cristal de roca observados por HUYGHENS, gozan de la propiedad de la doble refracción, pero indicó que los cristales del sistema cúbico no pueden gozar de ella.

Desde 1732, era intendente del Jardín de Plantas de París y, a su muerte, indicó como sucesor en este cargo, a un joven miembro de la Academia de Ciencias en quien Dufay fundaba grandes esperanzas. Este joven era BUFFON, el renovador de las ciencias naturales.

BOUGUER
(1698-1758)

Medida del grado de meridiano. Heliómetro. Fotometría. Atracción de los cuerpos y densidad de la Tierra.

PEDRO BOUGUER nació en Croisic (Bretaña) en 1698 y murió en París en 1758. Fué astrónomo, hidrógrafo, geómetra y miembro de la Academia de Ciencias y de la Sociedad Real de Londres.

A raíz de la confección de un mapa de Francia, encargado a CASSINI por la Academia de Ciencias, se hizo una medida del grado de meridiano, que no concordaba con la teoría del achatamiento de la tierra en los polos, establecida por NEWTON y HUYGHENS. Esta teoría era atacada por muchos sabios de escuela francesa como CASSINI, DE LA HIRE, MARALDI y JUAN BERNOULLI, y defendida por ingleses como GREGORY, KEILL, MAC LAURIN (1) y alemanes como HERMANN (2) y KRAFT. La Academia de Ciencias encargó entonces a Bouguer, LA CONDAMINE (3) y GODIN (4) de una expedición al Pe-

(1) MAC LAURIN (Kilmoddan, Escocia, 1698-Inglaterra 1746). Fué un gran geómetra y patriota. Participó activamente en la defensa de Edimburgo contra Carlos Eduardo, nieto de Jacobo II (1745). Fué discípulo de NEWTON y éste lo hizo nombrar profesor de matemáticas en la Universidad de Edimburgo, donde fué compañero de GREGORY.

(2) HERMANN (Basilea 1678-1733), matemático y físico suizo, amigo de LEIBNIZ, miembro de las Academias de París, Berlín y San Petersburgo. Perfeccionó el termómetro de aire de AMONTONS, cerrando su extremidad superior para evitar la influencia de la presión atmosférica.

(3) CARLOS MARIA DE LA CONDAMINE (París 1701-1774), naturalista, químico y literato. Colaboró con BOUGUER en la observación de la desviación de la plomada por una montaña. Comprobó la afirmación de BIANCONI de que la velocidad del sonido varía con la temperatura, pues observó que esta velocidad era de 339 metros en Quito mientras en Cayena, donde la temperatura es más elevada, era de 357 metros. A su vuelta, se enemistó con sus compañeros de expedición y atacó a BOUGUER con más ironía que razón.

(4) LUIS GODIN (París 1704-1760), astrónomo francés. Permaneció en América después del regreso de sus compañeros de expedición, presenció el terremoto de 1746, que destruyó Callao y Lima, y visitó el Paraguay y Tucumán. Volvió a Europa en 1750 y fué nombrado profesor

rú en 1735 para verificar las medidas obtenidas. Fueron acompañados por JOSE DE JUSSIEU (1) y los oficiales españoles JUAN (2) y ULLOA (3). En 1736, MAUPERTUIS dirigía otra expedición que, con el mismo fin, fué enviada a Laponia. En 1744, Bouguer volvió a París y dió el valor de 56.753 toesas (110.612 mts.) para el grado de



BOUGUER

---

de la Escuela Naval de Cádiz. No debe ser confundido con su sobrino y compañero de viaje en América, JUAN GODIN DES ODONAIS (1712-1792), que se ocupó de la filología de las lenguas indias.

(1) JOSE DE JUSSIEU (Lyon 1704-París 1779) pertenecía a una familia de naturalistas y son célebres sus hermanos, ANTONIO (1686-1758) y BERNARDO (1699-1777), su sobrino ANTONIO LORENZO DE JUSSIEU (1748-1836) y ADRIANO DE JUSSIEU (1797-1853) hijo del último. José de Jussieu permaneció 35 años en América del Sur, pero su obra se vió malograda, pues, a su vuelta a Francia en 1771, antes de embarcarse le robaron su dinero, sus manuscritos y colecciones, y, como volvió enfermo y sus facultades mentales declinaban, no pudo relatar sus descubrimientos.

(2) JORGE JUAN (Novelda, Alicante, 1713-Madrid 1773), marino español, se ocupó de construcciones navales e hidráulicas. Perteneció a varias sociedades científicas.

(3) ANTONIO DE ULLOA (Sevilla 1716-Isla de León 1795), marino español. Sólo tenía 19 años cuando acompañó la expedición; sin embargo hizo interesantes observaciones. Publicó con JORGE JUAN el relato de la expedición.

meridiano en el ecuador, pero después de ciertas correcciones obtuvo el valor de 56.732 toesas o sea unos 110.589 metros. La medida del grado hecha por MAUPERTUIS en Laponia le había dado el valor de 57.437 toesas, mientras en Francia las medidas oscilaban entre 57.084 y 57.048 toesas. El aumento del grado de sur a norte estaba, pues, bien comprobado. (Véase MAUPERTUIS).

Bouguer se ocupó mucho de física y especialmente de óptica. Inventó el heliómetro para medir el diámetro aparente de los astros. En una obra póstuma titulada "De la gradación de la luz" (1760), se encuentra un método fotométrico que tiene su importancia en la historia de este capítulo de la física.

Hemos visto que KEPLERO descubrió la ley principal de la fotometría al establecer la relación entre la intensidad luminosa y la distancia del foco y que HUYGENS (1698) realizó la primera determinación fotométrica al comparar la intensidad luminosa del Sol y de Sirio, siendo seguido este invento por el del fotómetro de FRANZ MARIA (1700) (1).

El método de Bouguer consiste en proyectar en la pared de un cuarto, un haz de luz estudiada, que penetra en él por una abertura provista de una lente, y luego colocar una vela a la distancia conveniente para que produzca una iluminación igual. Debe recordarse que en el mismo año en que apareció la obra óptica de Bouguer, apareció la "Fotometría de LAMBERT (véase).

En el curso de la expedición del Perú, Bouguer hizo la primera demostración clara de la atracción de los cuerpos, midiendo la desviación de la plomada producida por la atracción de la montaña Chimborazo. Esta determinación tiene particular importancia, pues permite establecer la densidad media de la Tierra por el método indicado primero por NEWTON, y más exactamente por Bouguer, método que

(1) Véase HUYGHENS.

fué seguido por LIESGANIG (1770), MASKELYNE (1) en 1775, JAMES y CLARKE (1855) y PRESTON (2) (1887), mientras que CAVENDISH (3) (1798), seguido luego por REICH (4), BAILY (5) (1842), CORNU y BAILLE (6) (1870), BOYS (7) (1893) y BRAUN (8) (1896), creó el método de la "balanza de torsión" en lugar de la plomada (9).

---

(1) NEVIL MASKELYNE (Londres 1732-1811), célebre astrónomo, colaborador de BRADLEY. El método seguido por MASKELYNE e indicado por BOUGUER consiste en comparar la atracción de la Tierra con la atracción ejercida por una montaña de masa conocida, que en este caso fué el monte Shehallien (Escocia).

(2) ERASMO PRESTON, astrónomo norteamericano, nació en Pensilvania en 1851. Realizó su medida cerca del Monte Habakab (isla de Marni, archipiélago de Hawai) y encontró el valor 5.13.

(3) ENRIQUE CAVENDISH (Niza 1731-Londres 1810), químico y físico inglés, segundo hijo del duque de Devonshire, llevó una vida modesta de estudio a pesar de su alto rango y de su enorme fortuna. Dió el análisis del aire atmosférico, descubrió la composición del agua, del ácido nítrico y las propiedades del hidrógeno. Era miembro de la Sociedad Real de Londres y de la Academia de Ciencias de París.

Midió la densidad media de la Tierra con la balanza de torsión unifilar según el método del inglés MICHELL y obtuvo el valor de 5.48. Este método ha sido adoptado por los físicos modernos.

En 1879, MAXWELL publicó sus memorias y manuscritos inéditos en los cuales se descubrió que Cavendish ya había establecido, en 1773, las leyes de atracción eléctrica que glorificaron a COULOMB.

Cavendish no tuvo en toda su vida otro interés que la ciencia, y fué un extraordinario experimentador.

(4) FERNANDO REICH (1799-1882). Se ocupó especialmente de electricidad atmosférica. Obtuvo el valor 5.49 para la densidad de la Tierra en sus experiencias de 1837-1838. Estudió teóricamente la torsión del hilo en la balanza de torsión.

(5) FRANCISCO BAILY (Newbury 1774-1844), fundador de la Sociedad Astronómica de Londres, era comerciante y sólo empezó a ocuparse de astronomía a los 50 años. Su resultado fué de 5.66 después de más de 2.000 determinaciones.

(6) BAILLE (n. 1841) meteorólogo del Observatorio de París. Hizo sus experiencias con CORNU y obtuvieron valores de 5.50 a 5.56.

(7) CARLOS BOYS (n. 1855). Físico inglés, fué profesor del Colegio Real; inventó el radiomicrómetro. Su medida es de 5.50.

(8) CARLOS BRAUN (n. Fuldal 1850). Físico alemán, enseñó en Marburgo, Estrasburgo, Carlsruhe y Tubinga. En 1909 compartió el Premio Nobel con MARCONI. Se ocupó de la teoría de la pila, de las excepciones a la ley de OHM, de la relación entre la presión y la solubilidad, de electrocapilaridad, de termofonía, de telegrafía sin hilos y de trasmisión inalámbrica de la energía. (Véase MARCONI).

(9) Véase CHWOLSON, t. I, pág. 392.

MAUPERTUIS
(1698-1759)

El principio de la menor acción.

PEDRO LUIS MOREAU DE MAUPERTUIS nació en Saint-Maló en 1698 y murió en Basilea en 1759, en la casa de sus amigos BERNOULLI.

Maupertuis pertenecía a una familia noble y durante algunos años estuvo en el ejército, pero pronto se dedicó exclusivamente al estudio de las matemáticas. A los 25 años, fué elegido individuo de la Academia de Ciencias.

Maupertuis fué newtoniano y, con los hermanos BERNOULLI, luchó contra los cartesianos. La Sociedad Real de Londres premió su propaganda a favor de NEWTON, nombrándolo asociado de esta corporación en 1727.

Dirigió la expedición enviada a Laponia por la Academia de Ciencias en 1736, cuando los franceses, demasiado impacientes, ya perdían la fe en la expedición de BOUGUER, a pesar de haber transcurrido sólo un año desde su salida.

Maupertuis fué acompañado por CLAIRAUT (1) CAMUS (2), LE MONNIER (3), y OUTHIER (4) y por

---

(1) ALEJO CLAUDIO CLAIRAUT (París 1713-1765), célebre matemático y astrónomo francés, miembro de la Academia de Ciencias desde 1732. A su regreso de Laponia publicó su "Teoría de la figura de la Tierra" (1743) en que se encuentra la primera teoría de la atracción capilar y el único punto tal vez que en su vasta obra nos interese en física, propiamente dicha. En mecánica, debe recordarse su estudio de la oscilación del péndulo y del péndulo cónico bajo un impulso cualquiera y su fórmula general de un flúido girando alrededor de un eje para establecer el método de determinación de la deformación de la Tierra por medio del péndulo.

(2) CARLOS CAMUS (Cressy 1699-París 1768). Matemático, astrónomo, arquitecto, fué discípulo de VARIGNON y miembro de la Academia de Ciencias de París. Se ocupó también de mecánica.

(3) PEDRO CARLOS LEMONNIER (París 1715-Heril, cerca de Bayeux, 1799). Hijo de PEDRO LEMONNIER, miembro de la Academia de Ciencias, ingresó en la misma a los 21 años. En 1791, fué uno de los 44 miembros fundadores del Instituto Nacional de Francia. En astronomía fué continuador de sus amigos HALLEY y BRADLEY. En física, sólo se recuerdan sus "Leyes sobre el Magnetismo".

(4) REGINALDO OUTHIER (Lamare-Jousserand, Jura, 1694-Bayeux 1774), abate y astrónomo francés. Fué miembro corresponsal de la

CELSIO, como enviado del Gobierno Sueco. Volvieron a París en 1737, después de once meses de expedición, y dieron como medida del grado de meridiano, el valor de 57.437 toesas (111.944 metros aproximadamente), valor que excede de unos 662 metros de la medida del grado de meridiano hecha en Francia.

Esta diferencia confirmaba pues, la teoría del achatamiento de la Tierra en los polos con el aumento del grado de meridiano de sur a norte (para el hemisferio Norte) y fué comprobada aunque corregida, por las medidas realizadas por CASSINI (1740) en Francia, por los resultados publicados por BOUGUER a su regreso del Perú (1744), y por varias otras medidas hechas ulteriormente. (Véase BOUGUER). Era pues un nuevo triunfo para los newtonianos y para su defensor, en Francia: Maupertuis, quien conoció desde entonces una extraordinaria popularidad.

En 1740, el rey Federico el Grande llamó a Maupertuis a Berlín y lo encargó de la Dirección de la Academia de Ciencias que se había fundado en esa ciudad. El sabio tomó parte en la guerra de Silesia bajo las órdenes de su generoso protector, y fué hecho prisionero por las tropas de María Teresa (1741), quien le devolvió la libertad. En 1745, se estableció en Berlín donde permaneció durante veinte años. Tuvo que defenderse de los crueles ataques de VOLTAIRE quien, aliándose al sabio KOENIG (1), negaba a Maupertuis todo derecho al "principio de mínima acción". Defendían la misma tesis MALEBRANCHE, WOLF y otros sabios de la época, pero EULER defendió los derechos de Maupertuis, en forma definitiva aunque de-

---

Academia de Ciencias de París. También fué canónigo de Bayeaux, pero fué separado de su puesto por haber tenido una aventura amorosa, abusando de su posición de confesor.

(1) SAMUEL KOENIG (Buedingen, cerca de Isenburg, 1712-Holanda 1757). Filósofo suizo, profesor en La Haya. Pretendía que LEIBNIZ había establecido el principio de la mínima acción antes que MAUPERTUIS y empezó así una discusión violenta y estéril en que EULER defendió a MAUPERTUIS. (Léase la defensa de Koenig en "Euler et ses amis" de G. DU PASQUIER, pág. 63).

masiado severa para KOENIG. VOLTAIRE, por su parte, perdió la amistad del rey Federico a causa de esta disputa.

Ya hemos visto que, desde la antigüedad, se emitieron opiniones que podrían ser consideradas — con exagerada preocupación en buscar precursores — como el origen del principio de Maupertuis. Es así que se cita frecuentemente entre ellos a ARISTOTELES por haber afirmado que la naturaleza no hace nada en vano y que busca siempre el mejor medio, y a HERON por haber considerado que la luz sigue la línea recta por ser ésta el camino más corto. También, FERMAT fundó su estudio de la refracción en la idea de que la naturaleza debe tratar de invertir el tiempo menor posible en la propagación de la luz (1).

Pero fué en 1740, 1744 y 1747, que Maupertuis publicó en París y en Berlín las memorias que enuncian por vez primera en forma clara el "principio" o "teorema" de la "menor acción" o "acción mínima" por el cual se establecía que, en la naturaleza, el producto de la cantidad de movimiento por el camino recorrido es igual a un mínimum: m.v.s. = mínimum.

EULER, (1752), no sólo demostró que Maupertuis era el verdadero creador del principio, sino que generalizó éste y lo sometió a un análisis riguroso, dándole el siguiente enunciado: "En todos los cambios que se realizan en la naturaleza, la acción que los opera (m.v.s.) es siempre la más pequeña posible". LAGRANGE generalizó más aún el principio, aunque le agregara la condición necesaria de que debía ser aplicado a sistemas regidos por el principio de conservación de las fuerzas vivas, y dedujo de él las ecuaciones

(1) Dice, en efecto, FERMAT, en el "Tratado de Máximos y Mínimos":

"Para demostrarla (la ley de la refracción, de DESCARTES), "ha sido necesario apoyarse en el postulado de que el movimiento de "la luz se efectúa más fácilmente y con mayor velocidad en los me- "dios densos que en los medios raros. Pero ese postulado parece en "contradicción con el buen sentido. Buscando el modo de partir del "principio opuesto hemos caído en la ley de DESCARTES. Nuestra "demostración se apoya en el postulado que afirma que la Naturaleza "se conduce por los caminos más fáciles y no por las líneas más cortas."

del movimiento. En el siglo XIX, se ampliaron mucho más la importancia y las consecuencias del principio de Maupertuis: GAUSS (1829) dió mayor precisión a su expresión; HAMILTON (1834) lo interpretó como "principio de la acción variable"; W. THOMSON y JACOBI desarrollaron los análises anteriores; BOLZMANN (1866) hizo derivar el principio de Maupertuis del principio de CLAUSIUS; HELMHOLTZ (1886) unió el principio de Maupertuis al de conservación de la energía y lo extendió a todos los fenómenos irreversibles de la naturaleza.

GRAY
(?-?)

Conducción eléctrica. Cuerpos conductores y aisladores. El electrómetro. Teoría eléctrica del movimiento planetario.

ESTEBAN GRAY vivió en la primera mitad del siglo XVIII, pero no se conocen con exactitud ni la fecha de su nacimiento ni la de su muerte (1) y, mientras algunos autores hacen transcurrir su vida de 1700 a 1760, otros adoptan las fechas de 1676-1736.

Gray descubrió o más bien observó claramente por primera vez, la transmisión de la electricidad en los cuerpos, los que dividió en "conductores" y "no conductores" (2). Llegó a esta observación casi por casualidad: En sus primeros experimentos quiso electrizar los metales por frotamiento o percusión pero, no pudiendo lograrlo, estudió la electrización del vidrio. Con este fin, electrizó por frotamiento un tubo de vidrio de un metro de largo y de unos dos centímetros de diámetro; tapó sus extremidades con tapones de corcho, creyendo poder observar así algún cambio

---

(1) "Es extraño que no nos haya llegado noticia biográfica alguna acerca de un hombre a quien la electricidad debe tantas cosas." W. THOMSON. "Historia de la Sociedad Real".

(2) Véase FIGUIER, "Merveilles de la Science". T. I, págs. 437-443.

o simplemente, tal vez, para impedir que penetrara tierra en el interior del tubo; señaló entonces como un hecho digno de atención que los tapones también estaban electrizados y que la electricidad había pasado así del vidrio al corcho. La transmisión eléctrica ya podría haber sido observada en la repulsión, pues si un cuerpo es repelido por otro electrizado con el cual ha estado en contacto, es que parte de la electricidad de éste ha pasado a aquél. Nadie, sin embargo, parece haber explicado este fenómeno por la transmisión, antes de Gray.

En las memorias de Gray, presentadas a la Sociedad Real de Londres en 1731 y 1732, se encuentran relatados muchos otros experimentos. Por uno de ellos se ve que, en 1729, Gray trató en vano de conducir la electricidad por medio de un hilo de cáñamo y atribuyó su fracaso a las pérdidas de electricidad por los cuerpos que sostenían el hilo. El eclesiástico GRANVILLE WHEELER, colega de Gray en la Sociedad Real, le propuso reemplazar estos cuerpos por hilos de seda "tan finos que no dejen pasar la electricidad". La experiencia le dió razón, pero Gray pronto descubrió que no era la finura del hilo sino la naturaleza misma de la seda que se oponía al paso de la electricidad y observó que la resina, el vidrio, los cabellos y otros cuerpos son como la seda "no conductores" o "aisladores" de electricidad.

El descubrimiento de los aisladores y el de la trasmisión de la electricidad permitieron a Gray realizar experimentos que causaban admiración y terror en aquella época, pero que para nosotros han perdido su misterioso encanto pues la ciencia nos ha enseñado à familiarizarnos con experimentos mucho más extraños que aquél, por ejemplo, que consiste en hacer salir chispas del cuerpo de una persona electrizada y aislada.

Con Gray se inicia la historia del electrómetro o más bien del electroscopio, pues este sabio sabía que si se cuelga un hilo a lo largo de un cuerpo, este hilo se aparta por repulsión cuando el cuerpo está electrizado. DU FAY (1733), con quien, como hemos visto, Gray tenía mucha amistad, empleó también este rudimentario aparato para denunciar la

electrización de los cuerpos; NOLLET (1747) ponía el cuerpo en contacto con dos hilos y proyectaba su sombra en un arco graduado, construyendo pues, un verdadero electrómetro; WAITZ (1) (1745) tuvo la idea de colocar pequeñas pesas en las extremidades de los hilos; CANTON (1753) reemplazó las pesas por bolitas de corcho o de médula de saúco; HENLEY (1772) le agregó un cuadrante y llegamos así a los tipos modernos de electrómetros, aunque éstos recibieran modificaciones de dispositivos de parte de SAXTORPH, VOLTA (1781), CAVALLO (1782), de SAUSSURE, BENNET, etc.

Gray, después de WALL, reconoció la analogía de causa entre la chispa y el trueno, y escribía en 1735:

"Es probable que con el tiempo se encuentren los " medios de concentrar más abundantes cantidades de " fuego eléctrico y se aumentará así la fuerza de un " agente que, por varios de mis experimentos y si se " puede comparar las grandes y las pequeñas cosas, " parece ser de la misma naturaleza que el trueno y el " relámpago."

"El mayor error en que Gray parece haber in" currido", dice PRIESTLEY en su "Historia de la Electricidad", "fué causado por experimentos que hizo " con bolas de hierro, para observar la revolución de " cuerpos livianos en su rededor."

Gray creía que cuerpos livianos suspendidos encima de un cuerpo electrizado describen elipses alrededor de éste, y entusiasmado por sus estudios de electricidad, creyó que podría explicar así el movimiento planetario. Los experimentos de MORTIMER confirmaron ¿quién sabe por qué?

---

(1) JACOBO VON WAITZ, Consejero de Estado y físico alemán. Fué premiado en 1745 por la Academia de Berlín por una obra de electricidad. Murió en Berlín en 1777. Perfeccionó la máquina eléctrica cubriendo la almohadilla con cera y aceite antes que CANTON adoptara una amalgama mercurial (1752), y trató de estudiar la repartición de la electricidad en la superficie de los cuerpos.

la inexacta observación de Gray; pero WHEELER, quien obtuvo resultados distintos, atribuyó el movimiento a algún gesto inconsciente del operador y especialmente a su gran deseo de producir el movimiento. Lo cierto es que Gray no perdió nuca la fe en su teoría eléctrica del movimiento planetario, y en su lecho de muerte dió instrucciones a MORTIMER para la feliz realización del experimento.

Antes de terminar este breve resumen de los experimentos de electricidad de Gray, debemos hacer notar que ni él ni DUFAY emplearon máquinas electroestáticas como las de GUERICKE o de HAWKSBEE, prefiriendo a ellas un tubo o una vara de vidrio.

Gray se ocupó también de otros puntos de la física, y se recuerda su descripción de un microscopio de agua que se construye perforando con una aguja fina una pequeña lámina de plomo y dejando caer una gota de agua en el agujero así producido.

NOLLET
(1700-1770)

Electricidad. Osmosis.

El abate JUAN ANTONIO NOLLET nació en Pimpré, cerca de Noyón, en 1700 y murió en París en 1770.

Nollet no fué tal vez un gran físico, pero realizó interesantes observaciones y sus experimentos y obras atrajeron a muchos estudiosos a la física.

Desde muy joven se interesó por esa ciencia y abandonó sus estudios de teología para dedicarse por completo a investigaciones de electricidad, en colaboración con DUFAY primero y con REAUMUR después.

Sus cursos públicos de física, dictados en varias ciudades de Francia, tuvieron extraordinario éxito; fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias (1739) y de la Sociedad Real de Londres. Protegido por Luis XV, fué encargado de estudiar el estado de las ciencias en Italia (1749) A su regreso, se creó expresamente para él una cátedra de

física experimental en el colegio de Navarra (1756) y más tarde fué nombrado maestro de física e historia natural de los infantes de Francia.

Hemos visto ya que Nollet contribuyó al invento del electrómetro, construyendo, en 1747, un electrómetro de dos hilos cuya sombra se proyectaba en un cuadrante graduado (véase GRAY), y que fué él quien hizo conocer en Francia el condensador de MUSSCHENBROEK, por numerosos e ingeniosos experimentos, dándole el nombre de "Botella de Leyden". (Véase MUSSCHENBROEK).

A pesar de que la mayor parte de sus obras tratan de electricidad, capítulo de la física que, en aquella época despertaba enorme interés gracias a los impresionantes experimentos de GRAY y de DUFAY, Nollet se ocupó también de otros puntos de la física. Contribuyó a la vulgarización de la óptica de NEWTON en Francia; estableció una teoría del eco en que lo consideraba como la reflexión en línea recta del sonido, en todo semejante a la reflexión de la luz; perfeccionó la cámara oscura de la que hizo un modelo portátil menos voluminoso y pesado que el de GRAVESANDE; descubrió la ósmosis (1748), observando que si se coloca dentro de agua, un frasco lleno de alcohol y cerrado con un pedazo de vejiga, el agua penetra en el vaso (endósmosis), y vice-versa si se coloca agua en el vaso y se sumerge en alcohol (exósmosis) (1). Estas primeras observaciones de difusión de ósmosis realizadas por Nollet fueron continuadas por PARROT (1809), FISCHER (1815). CHEVREUL (1822), MAGNUS (1827), DUTROCHET (1827-1835), JOLLY, GRAHAM, TRAUBE, PFEFFER, VANT'HOFF, etc...

---

(1) CHWOLSON. T. II, pág. 254.

BIANCONI
(1717-1781)

Su experiencia sobre velocidad del sonido.

El nombre del Conde JUAN LUIS BIANCONI debe figurar en una historia de la física por un solo hecho. Fué este médico y filólogo italiano quien primero comprobó la influencia de la temperatura sobre la velocidad del sonido, con un célebre experimento que realizó en Bolonia en 1740. Bianconi hacía disparar un cañón de la fortaleza de la ciudad y observaba, a 30 millas de distancia, el tiempo que transcurría entre la percepción del fulgor y la del sonido del disparo. Repitió esta determinación en distintas estaciones e hizo el experimento en verano y en invierno, con una diferencia de temperatura de 36° C., observando que en el invierno el sonido demoraba 4 segundos más en recorrer las 30 millas, o sea una disminución de 4 % en la velocidad. Hemos visto que LA CONDAMINE hizo una observación parecida en el curso de su expedición al Perú; pero no fué tomada en cuenta sino después de los experimentos que BENZENBERG (1) realizó en Dusseldorf, en 1811.

Bianconi nació en Bolonia hacia el año 1717 y murió en Perusa en 1781.

Viajó por toda Europa, perteneció a varias Academias y, además de médico, filólogo y físico, fué diplomático, realizando delicadas misiones para el elector de Sajonia, Augusto III.

---

(1) JUAN FEDERICO BENZENBERG (Schoeller, cerca de Elberfeld, 1777-1846). Astrónomo, físico y publicista alemán. Llevó una activa propaganda contra Napoleón, en Alemania y en Suiza. Fundó una escuela de agrimensura y un observatorio en Dusseldorf.

CELSIO
(1701-1744)

Su escala termométrica. Declinación magnética.

ANDRES CELSIO nació en Upsala en 1701 y murió en 1744.

Era astrónomo y como tal el gobierno sueco lo encargó de acompañar a MAUPERTUIS en la expedición del Polo. En el curso de este viaje, Celsio hizo interesantes observaciones que relató en obras reputadas como sus "Observaciones de las auroras boreales" en que combatía la idea de MAIRAN de que la luz boreal proviene de la luz zodiacal.

Estudió, después de GRAHAM y HALLEY, las declinaciones magnéticas y sus variaciones horarias. Más de cien años más tarde, el padre SECCHI (1) (1854) demostró que estas variaciones no son absolutamente fijas y que de noche también puede establecerse un máximum y un mínimum.

Como otros trabajos de Celsio, son célebres su determinación de la altura del Polo, su estudio de los satélites de Júpiter y su explicación de las oscilaciones de las costas de Suecia. En física, debe recordarse su método fotométrico que consiste en determinar la distancia en que la iluminación de la fuente luminosa en un objeto convencional cesa de ser perceptible; pero el nombre de Celsio se recuerda especialmente por la escala termométrica centigrada, hoy tan vulgarizada, y que fué adoptada en Suecia desde 1742. (Véase FAHRENHEIT y REAUMUR).

---

(1) El Padre SECCHI (Reggio, cerca de Modena 1818- Roma 1878). Este jesuíta enseñó matemáticas y astronomía en Italia, Inglaterra y Norte América, y fué director del Observatorio de Roma, corresponsal de la Academia de Ciencias de París y de la Sociedad Real de Londres. Hemos citado ya su barógrafo (1867), perfeccionamiento del barómetro estático de MORELAND.

DOLLOND
(1706-1761)

La dispersión. Lentes acromáticas.

JUAN DOLLOND nació en Spitalfields en 1706 y murió en 1761.

Era hijo de un obrero francés protestante que había huído de Francia cuando se revocó el edicto de Nantes y se había establecido en Inglaterra. La primera educación de Juan Dollond fué muy descuidada y, hasta la edad madura, no se preocupó más que de su trabajo de obrero; pero la casualidad hizo cambiar a este sencillo jornalero en un sabio que la historia siempre recordará.

Dollond, que había observado en su hijo mayor, Pedro, grandes facilidades para el estudio, quiso salvarlo de la vida penosa del obrero y le instaló un pequeño taller de óptica; luego, interesándose él mismo en ese trabajo, se dedicó también a la construcción de aparatos. Dollond tenía cuarenta y seis años cuando realizó este cambio en su vida y empezó a estudiar matemáticas, astronomía y óptica.

Su primer trabajo original fué el perfeccionamiento del anteojo o telescopio de refracción obteniendo un brillante éxito con un ocular de cuatro lentes plano-convexas. Inventó también un micrómetro especial para telescopios de reflexión; pero su celebridad se debe a su importante descubrimiento del acromatismo de las lentes, en 1758.

NEWTON había descubierto la aberración cromática de las lentes como consecuencia de su estudio de la dispersión de la luz, pero había creído y afirmado que cualquiera sea la substancia de las lentes su dispersión no puede variar y que la aberración cromática no tiene corrección posible. Convencido de esto, NEWTON rechazó el empleo del telescopio de refracción. Esta afirmación del gran sabio inglés no fué sin embargo compartida por todos y vemos a GRE-

GORY, EULER y KLINGENSTIERNA (1) encaminando, antes que Dollond, sus investigaciones hacia la solución de este importante problema.

D. GREGORY publicó, en 1695, sus "Elementos de catóptrica y dióptrica" en que proponía formar objetivos con varias substancias a semejanza de la constitución del ojo, pues esta disposición debía ofrecer ventajas ya que así lo había hecho la naturaleza. KLINGENSTIERNA atacó directamente la afirmación de NEWTON, considerando realizable la corrección de la aberración cromática, pues la dispersión de la luz no es la misma en todas las substancias. EULER, en 1746, en su "Teoría nueva de la luz" criticó con altura la teoría de la emisión de NEWTON, expresó la opinión, no absolutamente exacta, de que los líquidos contenidos en el ojo tienen por fin impedir la dispersión, y trató de comprobar esta afirmación con cálculos matemáticos.

En resumen, D. GREGORY aconsejaba el uso de varias substancias, pero sin saber qué resultado se obtendría; KLINGENSTIERNA indicó la posibilidad de la corrección de la aberración cromática y EULER sostuvo que el ojo realiza esta corrección y que debe repetirse el dispositivo imaginado por la naturaleza para obtener la deseada rectificación.

Faltaba pues la comprobación práctica, el invento, y esto se debe exclusivamente a Dollond con sus lentes dobles formadas por una lente biconvexa de vidrio verde (crownglass) y una lente bicóncava de vidrio blanco (flintglass). BEGUELIN (1714-1789) demostró la exactitud teórica del invento de Dollond y ZEIHER construyó un vidrio de plomo de dispersión mayor aún que el flintglass.

Las lentes acromáticas de Dollond permitieron construir anteojos de mayor aumento, aunque de dimensiones reducidas. Su invento fué completado por el del diasporóme-

---

(1) KLINGENSTIERNA (1698-Estocolmo-1765). Fué profesor en Upsala y se ocupó principalmente de matemáticas. Fué uno de los primeros en distinguir la diferencia entre la temperatura y la cantidad de calor.

tro de BOSCOWICH (1). La dispersión ha sido muy estudiada en el siglo XIX por TRAUENHOFER, BREWSTER, AMICI, ZOLLNER, CAUCHY, LEROUX, LOMMEL, etc...

Dollond fué miembro de la Sociedad Real de Londres y óptico del rey de Inglaterra; su hijo PEDRO DOLLOND, continuó su obra.

FRANKLIN
(1706-1790)

Su teoría de la electricidad. La electricidad atmosférica y el pararrayos.

La biografía de BENJAMIN FRANKLIN es tan conocida que sólo recordaremos aquí los principales episodios de su vida.

El célebre físico y político norteamericano nació en Boston en 1706 y murió en Filadelfia en 1790.

Su padre, presbiteriano inglés que había abandonado su patria al fin del reinado de Carlos II, tenía en Boston una pequeña fábrica de velas de sebo que le daba lo imprescindible para sostener a sus diez y siete hijos.

Benjamín sólo cursó un año de escuela primaria y desde la infancia tuvo que trabajar; pero, amante de la lectura, pudo darse así cierta instrucción. A los diez y seis años, siendo obrero en una imprenta, propiedad de uno de sus hermanos, colaboró en un diario publicado por éste y cuando las autoridades negaron a este hermano el derecho de seguir la publicación bajo su nombre, Benjamín Franklin apareció como director. Después de una diferencia con dicho

(1) ROGERIO BOSCOWICH (Ragusa, Dalmacia, 1711-Milán 1787), fué uno de los más célebres propagadores de las teorías de NEWTON, en Italia. Quiso aplicar la teoría de la atracción universal a todos los fenómenos por medio de la atracción molecular. Su diasporómetro determina el ángulo bajo el cual dos prismas forman un sistema acromático.

hermano, Benjamín buscó trabajo en Nueva York y en Filadelfia, donde se empleó en una imprenta. En 1724, fué a Londres para comprar material, y se estableció por su cuenta en Filadelfia, dos años más tarde. En 1730, dueño de un establecimiento próspero, se casó con Miss Read a quien había conocido el día mismo en que llegó a Filadelfia, pobre y cansado, en busca de trabajo. Fundó entonces un diario de oposición y publicó sus famosos "Almanaques del buen hombre Ricardo", obras filosóficas y morales de verdadero valor. En 1736, fué nombrado miembro de la Asamblea Provincial de Pensilvania; luego director de Correos de la provincia y Director General de los Correos de las Colonias Inglesas de América (1753).



FRANKLIN

La colonia lo encargó dos veces de misiones en Londres (1757 y 1764), donde no fué recibido sólo como político destacado sino como sabio ya célebre por importantes estudios sobre la electricidad, y donde fué designado miembro de la Sociedad Real mientras las Universidades de Oxford y Edimburgo le otorgaban el título de Doctor "Honoris Causa".

En 1769, Franklin perdió su cargo de Director de Correos por haber tomado una actitud hostil hacia el gobernador de la colonia; pero esto no le impidió ir a Londres en 1774 para tratar de evitar la separación de América e Inglaterra. Durante su estada en Londres, la Guerra de Independencia estalló, y Franklin volvió a su patria (1775), donde fué miembro del Congreso y colaboró con Washington en la defensa del país. Enviado a Francia por el mismo Congreso para pedir su apoyo, fué recibido con gran entusiasmo; fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias y todos los sabios y filósofos, y entre ellos VOLTAIRE, fueron sus amigos.

Firmó tratados de alianza con Luis XVI en 1778, con España en 1779, con Holanda en 1780; consiguió la neutralidad de Rusia, Dinamarca y Suecia; permaneció en Francia como ministro plenipotenciario; y fué uno de los signatarios del tratado de paz de 1783, que daba la libertad a los Estados Unidos. A los ochenta años, Franklin, inválido, quiso volver a su patria libre y todavía sirvió a su país durante tres años ya como presidente de Pensilvania, ya al lado de Washington en la Convención de 1787, ya en la redacción de la Constitución.

Franklin murió a los ochenta y cuatro años, en Filadelfia. Toda América llevó su luto durante un mes y la Asamblea Constituyente de Francia, a propuesta de Mirabeau, también decretó el duelo nacional.

Franklin fué un paladín de la justicia y de la libertad, un patriota y político austero, un sabio honesto y, ante todo, un hombre sencillo y virtuoso.

En física, su obra pertenece casi exclusivamente a la electricidad, en la cual el estudio de la botella de LEYDEN, el establecimiento de la electricidad atmosférica, la teoría de la electricidad son sus mayores títulos de gloria.

Puede parecer extraño que Franklin, con una instrucción reducida y tan alejado del ambiente científico europeo, haya pretendido ocuparse de física. Es que el estudio de los fenómenos eléctricos estaba "de moda" en aquella época (algo así como la radiotelefonía en nuestros días), y

hasta en la Colonia de América se había popularizado. Franklin asistió, en 1746, en Boston, a experimentos realizados por el Doctor SPENCE, médico recién llegado de Escocia y "que no era muy experto" en electricidad, pero que interesó grandemente. Pocos meses después, un miembro de la Sociedad Real de Londres, PEDRO COLLINSON (1), envió un estudio sobre los experimentos más conocidos de electricidad a una pequeña sociedad literaria que Franklin había fundado en Filadelfia.

De 1747 a 1754, Franklin realizó por su cuenta numerosos experimentos que relató a COLLINSON en una serie de cartas, célebres por su valor histórico. En ellas se encuentra la descripción de las observaciones originales de Franklin y las hipótesis y la teoría general de la electricidad con que trataba de explicar los hechos.

En uno de sus primeros experimentos, descubrió que, en una botella de Leyden cargada y aislada, "el alambre que sale del interior de la botella" tiene electricidad contraria de la que tiene "el vidrio al exterior", pues observó que una bolita de corcho puesta en contacto con el alambre es repelida por éste y atraída por el vidrio exterior. Franklin demostró esta diferencia de electricidad de la armadura interior y de la armadura exterior por muchos experimentos entre los cuales se recuerda la "araña eléctrica", el "campanario eléctrico", la "carga en cascada" (batería en columna) y otros a cual más ingenioso y recreativo (2).

Estos experimentos sirven para demostrar la explicación física de la botella de Leyden dada con toda claridad por Franklin, explicación que ni MUSSCHENBROEK, NOLLET, LEMONNIER, WINKLER, GRALATH, WATSON, BEVIS, WILSON, ni otros tantos experimentadores y perfeccionadores del condensador, habían logrado descubrir. (Véase MUSSCHENBROEK).

---

(1) PEDRO COLLINSON (Hugal Hall 1693-1768), fué físico y botánico.

(2) FIGUIER, en "Merveilles de la Science", tomo I, pág. 481, describe varios de estos experimentos.

Franklin no admitía la teoría de los dos flúidos eléctricos de DUFAY y propuso la teoría de un solo flúido, según la cual todos los cuerpos en estado eléctrico neutro contienen una cantidad determinada de sutil flúido eléctrico, cuyas moléculas se repelen entre sí, pero atraen a la materia. Si la igual distribución de la electricidad es el estado natural de los cuerpos, su distribución desigual es su estado eléctrico. Cuando hay electricidad en exceso se dice que hay electricidad positiva y se representa con el signo +; si hay "defecto" de flúido eléctrico se dice que la electricidad es negativa y su signo es —. Todo fenómeno de electrización es por consiguiente el paso de cierta cantidad de flúido eléctrico de un cuerpo a otro, y toda deselectrización es el restablecimiento del equilibrio por la devolución de esta cantidad de flúido.

La teoría de Franklin, que permitía explicar los fenómenos eléctricos con tanta claridad como la de DUFAY, no fué generalmente admitida, principalmente por ser considerada más complicada para la enseñanza y para la exposición sencilla de los hechos y por necesitar además la admisión de algunas hipótesis nuevas. AEPINUS demostró, por ejemplo, que en los cuerpos de electricidad negativa la teoría de Franklin significaría una repulsión de los átomos de la materia; pero otros físicos y matemáticos de la época demostraron que se podía fácilmente evitar este inconveniente sin modificar la teoría. NOLLET, el rival de Franklin, atacó también la teoría del flúido único, pero lo hizo sin duda para defender una teoría propia que no tuvo el menor éxito.

Si la teoría de Franklin no fué aceptada en el siglo XVIII, no nos podemos abstener de hacer notar su semejanza con la teoría moderna electrónica de la electricidad (1). En efecto, los electrones se repelen entre sí como las partículas del flúido de Franklin y la electrización por frotamiento se explica en las dos teorías por el paso de partículas eléctricas de un cuerpo a otro.

(1) Véase C. R. GIBSON, "La Ciencia al Día", página 72.

Existe sin embargo una diferencia en cuanto al sentido en que se efectúa este paso, pues mientras en la teoría de Franklin la electricidad positiva significa un "exceso" de electricidad sacada al cuerpo que queda con electricidad negativa por su "defecto de flúido", en la teoría de los electrones el cuerpo positivo ha perdido preponderancia y el cuerpo negativo es el que tiene "exceso" de electrones. A esta diferencia de sentido de la marcha de la electricidad en las dos teorías, se debe cierto antagonismo entre nuestra terminología, inspirada por la teoría de Franklin, y los conceptos modernos. En la explicación de la corriente, por ejemplo, acostumbramos hacer pasar la corriente del polo positivo al polo negativo a causa del concepto del "exceso" y del "defecto" de Franklin, pero la teoría electrónica nos enseña que los electrones abandonan el zinc y se precipitan hacia el cobre.

Estos trabajos de Franklin bastarían para asegurar la celebridad de un sabio; pero si su obra es conocida hasta por el vulgo, que reconoce en este sabio y político a uno de los grandes genios de la humanidad, es únicamente por su invento del pararrayo, ese maravilloso aparato que arranca al cielo "el fuego divino".

Haremos pues una breve reseña de la historia del pararrayo y de la electricidad atmosférica y veremos que, contrariamente a lo que se cree generalmente, este invento no se debe exclusivamente a Franklin (1).

No acompañaremos a los historiadores que han tratado de probar que los antiguos ya conocían el poder de las puntas y las utilizaban para protegerse de los rayos. Por más tentadoras que sean sus presunciones, no se puede creer que los antiguos, que no conocían la polaridad eléctrica y no sospechaban aún la naturaleza del rayo, considerando todos los fenómenos de electricidad atmosférica como manifestaciones divinas, hayan conocido, empíricamente siquiera, el pararrayo. Sin prueba de lo contrario, preferimos conside-

(1) Véase la historia del pararrayo en "Notices d'ARAGO" y "Merveilles de la Science" de FIGUIER, tomo I, págs. 491-597.

rar que este hermoso invento haya sido la consecuencia lógica y consciente del descubrimiento científico de la electricidad atmosférica.

Fué DESCARTES quien dió la primera explicación racional del relámpago y del trueno, considerándolos como provocados por la caída y el choque de las nubes y la condensación brusca del aire. BOERHAAVE emitió la hipótesis, que fué generalmente admitida, de que pedazos de hielo en el centro de las nubes reflejan y condensan como espejos el calor solar, que llega así a encender los vapores sulfurosos y grasos de la atmósfera.

El origen de la explicación eléctrica del rayo puede encontrarse en el siglo XVII en las observaciones de GUERICKE, BOYLE y NEWTON y más especialmente en la primera mitad del siglo XVIII con el Doctor WALL (1708), HAWKSBEE (1709), DESAGULIERS, DUHAMEL (1), GRAY (1735), NOLLET (1743) y WINKLER (1746), que emitieron cada vez con mayor claridad la semejanza entre los fenómenos eléctricos de laboratorio y los fenómenos atmosféricos. Es así que, en 1750, la Academia de Burdeos, que había puesto a concurso el estudio del trueno y del relámpago, premió un trabajo de BARBERET, médico en Dijón, en que defendía aunque sin mayor originalidad, la explicación eléctrica del rayo. Pocos meses más tarde en la misma Academia, DE ROMAS (2) presentaba una memoria en que trataba de probar que el rayo tiene todas las características de la electricidad.

En el mismo tiempo en que DE ROMAS presentó ese trabajo, Franklin escribía su quinta carta a COLLINSON,

(1) DUHAMEL-DUMONCEAU (París 1700-1782), fué discípulo de DU FAY y se ocupó de varias ciencias, pero especialmente de agricultura y de botánica. Perteneció a varias academias: a la de París y a la Sociedad Real de Londres. Sostuvo una polémica en la que no llegó a convencer a REAUMUR de que no era ridículo considerar el rayo coun fenómeno eléctrico. No debe ser confundido con J. DUHAMEL (1797-1872) ni con otro físico del mismo nombre del siglo XVII (1624-1706) que figuran también en la Historia de la Física.

(2) DE ROMAS (Nerac 1713-1776), magistrado en su ciudad natal; estudió mecánica y física; fué miembro de la Academia de Burdeos y de la de París después de su invento de la cometa eléctrica.

en que establecía la naturaleza eléctrica del rayo y en que proponía, como simple proyecto, comprobar la exactitud de la hipótesis, del modo siguiente:

"Coloque en una torre alta, una especie de gari-
" ta bastante grande para contener un hombre y una
" silla aislada; del medio de la silla eleve una lanza de
" hierro, que se levante perpendicularmente a 20 ó 30
" pies y termine en punta aguda... cuando nubes eléc-
" tricas pasen un poco bajo, el hombre será electri-
" zado..."

Franklin no "descubrió" pues, la electricidad atmosférica cuya existencia era conocida al menos desde principios del siglo XVIII; pero emitió el proyecto de un experimento que permitía comprobar lo que hasta entonces no era más que una hipótesis. Este experimento es una consecuencia del descubrimiento del poder de las puntas, que Franklin comunicó en su segunda carta a COLLINSON en 1748; pero este descubrimiento no se debe tampoco exclusivamente a Franklin, pues se encuentra su origen en observaciones hechas por BOSE (1738) y sobre todo por JALLABERT (1) en 1747 y relatadas al año siguiente por el Abate NOLLET, siendo posible, como hemos visto, que GUERICKE haya precedido a BOSE y JALLABERT.

Las cartas de Franklin fueron leídas en la Sociedad Real de Londres y publicadas en un libro, en 1751, pero los sabios ingleses no dieron importancia alguna al "proyecto" de experimento de Franklin. No pasó lo mismo en Francia, donde BUFFON leyó con gran interés las "Cartas sobre electricidad", las comunicó a DALIBARD (2), quien

(1) JUAN JALLABERT (Ginebra 1712-1768) se ocupó de historia natural, química y física. Fué el primero en emplear la electricidad con fines curativos. Emitió la idea de que la electricidad puede ser provocada por un movimiento molecular de la materia. Fué profesor de la Universidad de Ginebra y desempeñó un importante papel en la política de esta ciudad.

(2) DALIBARD (Maine 1703-París 1799), fué maestro de matemáticas de BUFFON. Publicó una interesante obra sobre la flora de los alrededores de París. Tradujo al francés varias obras científicas extranjeras. Luis XV le otorgó una pensión de 1.200 libras por sus experiencias de electricidad.

se encargó de su traducción (1752) y las hizo conocer por DELOR, un experimentador que daba espectáculos públicos a base de experimentos de electricidad en París. BUFFON, DALIBARD y DELOR trataron de realizar, cada uno de su lado, el experimento proyectado por Franklin. BUFFON colocó la punta de hierro en su castillo de Montbard, DALIBARD la estableció en su casa de campo de Marly, cerca de Versalles, y DELOR, en su casa de París.

DALIBARD fué el más feliz de los tres, pues nos dice:

> "El miércoles 10 de Mayo de 1752, entre las dos
> " y las tres de la tarde, Coiffier, antiguo dragón que
> " yo había encargado de hacer las observaciones en
> " mi ausencia, oyó un trueno violento y se lanzó en-
> " seguida hacia la máquina; tomó el frasco con el hi-
> " lo (alambre aislado), lo presentó a la barra de hie-
> " rro y vió salir una pequeña chispa brillante y oyó
> " un ligero chisporoteo; sacó una segunda chispa con
> " más ruido. Llamó a sus vecinos y mandó buscar al
> " cura. Este acudió a toda prisa; los parroquianos que
> " vieron venir al cura corriendo creyeron que el po-
> " bre Coiffier había sido muerto por el rayo; la alar-
> " ma se extendió a la aldea; el granizo no impidió al
> " rebaño de seguir a su pastor. El honesto eclesiástico
> " se acercó a la máquina y sacó fuertes chispas..."

Tres días después, DALIBARD anunció a la Academia de Ciencias entusiasmada, que el miércoles 10 de Mayo de 1752, entre las dos y las tres de la tarde, por primera vez, la electricidad celestial había sido descargada por la mano del hombre.

DELOR obtuvo el mismo resultado el 18 de Mayo y BUFFON al día siguiente.

Mientras tanto, Franklin se impacientaba, pues esperaba la terminación de la construcción de una alta torre en Filadelfia para realizar el experimento. En junio, imaginó elevar la punta de hierro por medio de una cometa provista de una cuerda de cáñamo que llevaba en su extremo

una llave y era aislada con un pañuelo de seda. El experimento estuvo a punto de fracasar, pues era insuficiente la conductibilidad eléctrica de la cometa y del hilo, pero una lluvia muy oportuna vino a aumentar esa conductibilidad y Franklin tuvo entonces la alegría de poder realizar su experimento, ignorando que en aquella fecha, en el viejo mundo, muchos sabios después de DALIBARD, DELOR y BUFFON ya lo repetían, e ignorando así mismo que DE ROMAS imaginaba también y casi simultáneamente con él elevar la punta de hierro por medio de una cometa. En marzo de 1753, DE ROMAS realizó la experiencia de la cometa con más cuidado y con mejor resultado que el sabio americano.

Fué pues Franklin quien tuvo la idea del experimento de comprobación de la causa eléctrica del rayo, pero fueron los europeos y especialmente los franceses quienes lo realizaron y lo vulgarizaron.

En Junio de 1752, L. LEMONNIER descubría que, aun en tiempo sereno, hay electricidad en la atmósfera, de lo que no convenció sino con mucha dificultad a los sabios.

WATSON, CANTON y BEVIS en Inglaterra, ZANOTTI, VERRAT, MARIN y sobre todo el Padre BECCARIA (1), en Italia, MUSSCHENBROEK y VAN SWINDEN en Holanda, WINKLER y BOSE en Alemania, RICHMANN y LOMONOSOW (2) en Rusia, competían en interesantes observaciones relacionadas con el experimento de Franklin.

Sólo fué en Septiembre de 1752 que Franklin instaló una lanza de hierro en el techo de su casa. En abril de 1753,

---

(1) JUAN BAUTISTA BECCARIA (Mondovil 1716-Turín 1781), monje escolapio y físico italiano, enseñó en Turín de 1748 hasta su muerte. Entre sus obras se destacan: "Electricidad natural y artificial" (1753); "Electricidad artificial" (1771). "Electricidad atmosférica en cielo sereno". Fué el primero en observar (1762) que los rayos refractados toman una coloración que BREWSTER estudió (1815).

(2) MIGUEL BASILEWITSCH LOMONOSOW (Denisowka 1711-San Petersburgo 1765). Fué tal vez el más grande de los poetas líricos rusos y fué también valiosa su contribución a la física; es considerado, en fin, como uno de los fundadores de la filología rusa moderna.

cargaba una botella de Leyden con electricidad atmosférica para poder determinar su signo.

En Agosto de 1753, los peligrosos experimentos hicieron su primera víctima: el profesor RICHMANN (1) de San Petersburgo fué fulminado por una chispa recibida en plena frente mientras trataba de medir la intensidad de la electricidad de la barra de hierro por medio del electrómetro.

Hasta aquí todos los experimentos de que hemos hablado han servido para demostrar la identidad entre el "flúido eléctrico terrestre" y el "flúido celeste"; pero ninguno de ellos tendía a adaptar los dispositivos inventados a la preservación efectiva de los edificios.

En Septiembre de 1753, Franklin, en su décima tercera carta a COLLINSON, emitió la idea de que se podría proteger a los edificios y sus habitantes de los peligros del rayo, colocando barras de hierro en los techos y haciéndolas comunicar con el suelo con buenos conductores. En 1760, Franklin construyó el primer pararrayo cuya aplicación se difundió pronto en América y Europa, a pesar de la oposición científica que le hacía el Abate NOLLET, y venciendo, al principio, la incredulidad de las masas. Pero luego fué tan grande el entusiasmo que provocó el nuevo invento que algunos comerciantes ocurrentes y aprovechados fabricaron paraguas y sombreros de mujer provistos de pararrayos y de una cadena conductora que se arrastraba por el suelo.

En 1772, se levantó una discusión científica para saber si se debía adoptar el pararrayo de punta "ofensivo", o simplemente el pararrayo esférico "defensivo". La Sociedad Real de Londres nombró una Comisión especial formada por CAVENDISH, WATSON, ROBERTSON, Franklin y B. WILSON, siendo este último el único que considerara peligroso el uso del pararrayo de punta, a pesar de ver sus argumentos rechazados por NAIRNE.

(1) JORGE GUILLERMO RICHMANN (Pernau, Livonia, 1711-San Petersburgo 1753), era profesor de San Petersburgo y miembro de la Academia de Ciencias de la misma ciudad. En la biografía de BLACK, hablamos del método calorimétrico de las mezclas que se debe a RICHMANN.

Desde 1765, Franklin se ocupó más de política que de ciencia; pero su obra había sido grande y si no se debe afirmar, como lo hacen algunos, que pueda atribuirse a Franklin exclusivamente el descubrimiento de electricidad atmosférica, puede decirse con justicia que ese gran filósofo, sabio y patriota americano fué el causante y uno de los más activos colaboradores del movimiento científico iniciado por el estudio de la electricidad atmosférica.

Este movimiento no fué suficiente, sin embargo, para que la electricidad atmosférica formara un capítulo aparte de la física, pues sólo logró adquirir esta importancia cuando los descubrimientos iniciales fueron completados por numerosas observaciones entre las cuales se destacan especialmente las de HORACIO DE SAUSSURE (1).

Fuera de la teoría de la electricidad y del invento del pararrayo, Franklin realizó un sinnúmero de experiencias eléctricas y llegó a reunir tantas observaciones interesantes que su nombre aparece, aunque sea incidentalmente, en la historia de casi todos los puntos del estudio de la electrici-

(1) HORACIO DE SAUSSURE (Nació cerca de Ginebra en 1740 y murió en esta ciudad en 1799). Discípulo de su tío el filósofo BONNET, era hijo de NICOLAS DE SAUSSURE, célebre agrónomo (Ginebra 1709-1790). Fué compañero de HALLER. Viajó por Inglaterra, Francia, Italia y Alemania y realizó numerosos viajes a las montañas, donde hizo importantes estudios de meteorología, geología, botánica y electricidad atmosférica. Perfeccionó varios aparatos y especialmente el termómetro, el electrómetro y el anemómetro. Puede ser considerado como el inventor del "higrómetro de cabello", pues el que lleva su nombre fué el primer higrómetro de absorción de uso práctico. La idea del empleo de materias orgánicas para determinaciones higrométricas se debe a CARDANO y a SANCTORIO en el siglo XVI, y MERSENNE fué el primero en construir un higroscopio, en el siglo XVII; pero el que Saussure inventó en 1775 y construyó en 1781, es el primero de graduación segura. En 1785, Saussure agregó al electrómetro una punta de 80 centímetros para aumentar su sensibilidad; dos años más tarde, VOLTA imaginaba descargar esta punta por medio de una llama. Saussure fué uno de los primeros con PRIESTLEY y PRIEUR, en ocuparse de la dilatación de los gases. Su hijo NICOLAS TEODORO DE SAUSSURE (Ginebra 1767-1845), célebre químico, fué su colaborador en varios estudios y figura en la historia de la física por su estudio de la densidad del aire atmosférico en función de la altitud, por haber sido el primero en estudiar la condensación de los gases en los cuerpos porosos (1814) como el carbón y la espuma de mar, y por sus experiencias sobre reflexión de radiación calorífica oscura.

dad. Entre esas observaciones merecen tal vez recordarse con más interés: la que hiciera en 1773, acerca del paralelismo entre la conductibilidad calorífica y la conductibilidad eléctrica, fenómeno que fué estudiado más detalladamente por ACHARD (1779); su observación de 1749, de que los líquidos electrizados se vaporizan con más facilidad, con la deducción de que el vapor debe llevar la carga eléctrica, observación y deducción sobre las cuales está fundada la máquina eléctrica de vapor de ARMSTRONG (1840), aunque este sabio llegó a la convicción que la electricidad así producida no se debe a la vaporización sino al frotamiento del vapor.

EULER (1)
(1707-1783)

Optica: Teoría de las ondulaciones longitudinales. Lentes acromáticas. Teoría de los colores.
Acústica: Eco. Vibración de las cuerdas. Vibraciones rotativas. Vibración varillas, tubos sonoros, campanas, anillos, platillos, pieles. Tono. Límites de percepción.
Mecánica: Composición de fuerzas y velocidades. Péndulo. Sincronismo. Choque y Elasticidad. Tenacidad. Movimiento de rotación. Concepto de fuerza, masa, trabajo. Noción de potencial.
Calor: Calor-movimiento.

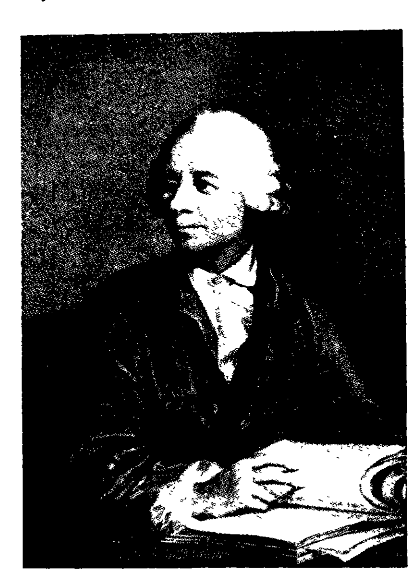
LEONARDO EULER nació en Basilea en 1707 y murió en San Petersburgo en 1783.

Su padre, PABLO EULER, pastor calvinista, se ocupó de su primera educación y lo hizo con mucho acierto. Su fin era de hacer seguir a su hijo su propia carrera; pero Pablo Euler había sido discípulo de JACOBO BER-

(1) "Euler et ses amis" L. G. DU PASQUIER (Hermann, París, 1927). "Elogio de Euler" por Condorcet.

NOULLI y, recordando sin duda las lecciones de su maestro, infundió a su hijo Leonardo tal amor a las matemáticas que éste renunció a los estudios teológicos y decidió consagrarse a la ciencia.

Euler pasó sus primeros años en la pequeña aldea donde su padre era pastor. La quieta y sana vida del campo parece haber forjado su carácter, pues siempre fué apacible y modesto, y la fe y la honestidad del hogar paternal lo hicieron virtuoso y de costumbres austeras.



EULER

Abandonó la aldea para seguir sus estudios en Basilea, donde se encontraba la única universidad de Suiza. Allí siguió todos los cursos y en todos se destacó, aunque tuviera especial afecto por las matemáticas.

JUAN BERNOULLI, su profesor, admirado por sus extraordinarias disposiciones, por su memoria prodigiosa, su voluntad y su empeño, invitó al joven a concurrir una vez por semana a su casa para ayudarlo en sus estudios. Allí se hizo amigo de los dos hijos del maestro, NICOLAS y DANIEL BERNOULLI, y, en 1725, cuando esos dos

jóvenes, que por su saber ya se mostraban dignos de su apellido ilustre, fueron llamados a Rusia por la emperatriz Catalina como miembros de la recién fundada Academia de Ciencias de San Petersburgo, no olvidaron a su amigo e hicieron valer toda su influencia para que fuese invitado a reunirse con ellos en aquel país. Lograron su fin, y, en 1727, Euler fué a San Petersburgo como profesor adjunto de matemáticas. Ya no era un desconocido, pues la Academia de Ciencias de París había premiado su disertación sobre "La Naturaleza y propagación del sonido" y en un concurso para la provisión de la cátedra de física de la Universidad de Basilea, Euler había ocupado el primer puesto conjuntamente con otro competidor, quien obtuvo el cargo por haberle sido favorable la suerte.

Euler abandonó pues su patria a la edad de veinte años y no debía volverla a ver. Cuando llegó a Rusia, sólo se encontró con DANIEL BERNOULLI, pues NICOLAS había sucumbido pocos meses antes, víctima del rigoroso clima septentrional. El día mismo de la llegada de Euler, la emperatriz Catalina I dejó de existir, y el joven sabio, que sólo contaba con su sueldo de profesor, temiendo perder su cargo con la desaparición de la "Protectora de las Ciencias", se enroló en la flota rusa como teniente de navío. El caos político que siguió a la muerte de Catalina, se apaciguó con la desaparición del joven tzar Pedro II (1730). Su sucesora, la emperatriz Ana I, volvió a proteger la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Euler fué nombrado profesor de física de dicha academia, de la cual fué designado presidente, en 1733, en reemplazo de DANIEL BERNOULLI que volvía a su patria.

En el mismo año, Euler contrajo enlace con su compatriota la señorita Gsell y de este matrimonio nacieron trece hijos, de los cuales cinco se casaron y aumentaron la descendencia del sabio con treinta y ocho nietos.

En la tranquilidad del hogar y obligado también a vivir algo retraído por el justo temor que inspiraba un gobierno despótico a ese hijo de la libre Suiza, Euler se dedicó por completo al estudio, y esta asuidad puesta al ser-

vicio de una inteligencia genial produjo las inmortales y numerosas obras matemáticas que han elevado su celebridad a la altura de la de sus inspiradores NEWTON y LEIBNIZ y de su contemporáneo y rival D'ALEMBERT.

A las 28 años, Euler perdió la vista de un ojo a consecuencia de una congestión cerebral causada por el exceso de trabajo. En 1740, la muerte de la czarina Ana Ivarowna dejó otra vez a Euler en una situación dudosa, y el sabio aceptó la invitación de Federico II para formar parte de la Academia de Ciencias de Berlín, que este soberano quería levantar sobre los restos de la Sociedad Real formada por LEIBNIZ. En ese mismo año, Euler publicó su "Tratado de mecánica".

El sabio se instaló en Berlín en cuya Academia encontró a MAUPERTUIS, y fué calurosamente recibido por la corte de Prusia, en la ausencia del rey, que la guerra mantenía en los campos de Silesia. Sus lecciones a la princesa de Anhaltdessau, sobrina de Federico, fueron reunidas en "Cartas a una princesa de Alemania, sobre algunos puntos de física y de filosofía", obra que obtuvo un enorme éxito por su doble valor científico y didáctico.

El rey de Prusia aprovechó los vastos conocimientos de su protegido con fines prácticos, y es así que Euler escribió un "Tratado de artillería", un "Tratado de construcción y maniobra de navíos" y se ocupó de cálculos de finanzas y de construcción de caminos y canales. Fué en ese "Tratado de artillería" que Euler cometió el error de discutir con ROBINS (1) el empleo de los cañones rayados.

(1) BENJAMIN ROBINS (Bath 1707-Madrás 1751). Era ingeniero-jefe de la compañía de las Indias, fué miembro de la Sociedad Real de Londres desde 1727. Escribió numerosas obras de matemáticas, construcción y artillería. En su estudio del tiro, trató con acierto de la resistencia del aire, de la velocidad, de los proyectiles y fué el primero en emplear el "péndulo balístico". Defendió el empleo de las armas rayadas, pero EULER atacó esta teoría; el gran ascendiente de éste sobre los sabios de la época hizo rechazar los consejos de Robins y fué sólo en el siglo siguiente que las armas rayadas volvieron a ser admitidas. En 1740, Robins demostró experimentalmente la inexactitud de la ley de NEWTON sobre resistencia del aire para grandes velocidades. Si Robins se atrevió a discutir esta ley de NEWTON, cometió, sin embargo, la injusticia de considerar a LEIBNIZ como plagiario de su gran compatriota.

En 1746, publicó su célebre "Teoría nueva de la luz", que atacaba severamente, pero con alto criterio científico, la teoría de la emisión de NEWTON y defendía la teoría de las ondulaciones de HUYGHENS.

En el año siguiente, se ocupó activamente de la construcción de lentes acromáticas, acerca de las cuales rechazaba la idea de NEWTON de que era imposible obtener el acromatismo, y defendía, no muy exactamente, la teoría según la cual las distintas materias del ojo lo hacen acromático. La opinión de Euler y la de KLINGENSTIERNA indujeron a DOLLOND a realizar el invento que lo hizo célebre. (Véase DOLLOND).

Mientras tanto, en Rusia, Catalina II trataba de atraer a su corte a los más célebres representantes de la ciencia y de las letras, y como Euler seguía figurando como miembro activo de la Academia de San Petersburgo y seguía percibiendo su sueldo como tal, a pesar de su larga ausencia, la emperatriz lo hizo volver a esa ciudad en 1766, aceptando de antemano todas las condiciones que el sabio le propusiera. Euler, por otra parte, aceptó gustoso la invitación pues sus relaciones con Federico II se habían enfriado a raíz de ciertas discusiones sobre la administración de la Academia de Berlín.

Poco tiempo después de su vuelta a Rusia, Euler perdió completamente la vista. Su ceguera no interrumpió sus trabajos y, gracias tanto a su extraordinaria memoria y su rapidez en el cálculo, como a la constante devoción de su secretario NICOLAS FUSS, discípulo de DANIEL BERNOULLI, pudo continuar sus estudios. De esta época datan sus "Elementos de álgebra", su "Dióptrica" e importantes obras de astronomía y de hidrodinámica, contenidas en 355 memorias escritas de 1773 a 1782.

Varias otras desgracias entristecieron los últimos años del gran matemático. En 1771, estalló un terrible incendio que destruyó más de 550 casas de San Petersburgo; las llamas llegaron a la casa de Euler, y el pobre ciego, gravemente enfermo, hubiera perecido si uno de sus compatriotas que vivía en la misma calle, no se hubiera arrojado valiente-

mente a salvarlo. El príncipe Orloff, favorito y amante de la emperatriz, había acudido también en ayuda de Euler y, viéndolo a salvo, tuvo el noble gesto de afrontar el peligro para salvar sus manuscritos.

Una tarde de otoño de 1783, Euler, con un nieto jugando a su lado, conversaba apaciblemente con un sabio amigo acerca de cuestiones astronómicas y de la sensacional hazaña de los hermanos MONTGOLFIER, cuando un ataque de apoplegía no le dió más que el tiempo de pronunciar: "Me muero".

Así murió este hombre virtuoso, este sabio ejemplar, hablando de ciencia y oyendo jugar a su nieto, gozando así hasta el postrer momento de las dos grandes alegrías de su vida: la ciencia y la familia.

La vastísima obra de Euler interesa especialmente las matemáticas, pues las "abrazó en su universalidad, perfeccionando sucesivamente sus diversas partes y enriqueciéndolas todas por descubrimientos importantes, y produjo una revolución útil en el modo de estudiarlas" (1). Pero a su amplio genio no le bastaba ese enorme campo de estudio y abrazó también la mecánica, la astronomía, la física, la química, las ciencias naturales, la medicina, la historia y aun la literatura.

Por más que en el siglo XVIII las ciencias no tenían aún la amplitud que han adquirido en nuestra época, la especialización ya había desarrollado inmensamente el dominio de cada ciencia y sólo un verdadero genio podía, como Euler, aportar a todas ellas ideas nuevas y superar a los especialistas.

En física, la influencia de Euler se ha hecho sentir sobre todo en óptica y en acústica.

Hemos dicho ya que atacó la teoría de la emisión, defendida por NEWTON, a favor de la teoría de las ondulaciones longitudinales. Euler colaboró eficazmente y con un

(1) Elogio de Euler por CONDORCET.

amplio estudio geométrico, al progreso de los instrumentos dióptricos, y ya hemos visto (véase DOLLOND) que, en 1746, demostró matemáticamente, y en oposición con el criterio de NEWTON, la posibilidad de construir anteojos acromáticos empleando lentes de distintas sustancias. Esta afirmación basada en conceptos teóricos fué comprobada experimentalmente con el invento de DOLLOND, quien, a principio, se oponía a las conclusiones de Euler.

En la "Nueva Teoría de la Luz y de los Colores" de Euler se encuentra además una de las primeras explicaciones de los colores (explicación que HUYGHENS evitó dar en su "Tratado de la Luz"), por la diferencia de amplitud de las vibraciones luminosas, explicación que ya hemos mencionado al referirnos a las preguntas de la óptica de NEWTON. (Véase NEWTON, pregunta XX de la óptica).

En acústica, Euler hizo también importantes trabajos teóricos. Demostró casi simultáneamente con D'ALEMBERT que no podía admitirse, como lo pretendían algunos físicos, y entre ellos el abate NOLLET, que el sonido se refleja exactamente como la luz para provocar el eco; y dió entonces la primera teoría exacta de este fenómeno (1765-1767).

Los trabajos de TAYLOR, quien, como lo hemos visto, estableció la fórmula del número de vibraciones de una cuerda, provocaron una larga y áspera discusión entre los físicos matemáticos, en la que se distinguieron JUAN BERNOULLI, LAGRANGE, D'ALEMBERT, DANIEL BERNOULLI, RICATTI (1), ZANOTTI (2) y Euler. Uno de los puntos de esa discusión puramente matemática era el de saber si una cuerda vibrante debe llegar a una curva armónica, la cicloide, cualquiera sea su posición inicial, co-

(1) GIORDANO RICATTI (Castelfranco, cerca de Treviso 1709-Treviso 1790) estudió las vibraciones transversales de las varillas con las dos extremidades libres y las vibraciones de membranas elásticas de periferio fijo. Giordano Ricatti era hijo del no menos célebre matemático CONDE JACOBO RICATTI (1676-1754).

(2) ZANOTTI (Bolonia 1692-1777). Matemático italiano.

mo lo pretendía TAYLOR, o si la cuerda vibrante puede adoptar cualquier forma discontinua, como lo afirmaba Euler (1748). Este demostró también que las vibraciones rotativas de las cuerdas son el resultado de vibraciones rectilíneas en planos distintos. Estudió las vibraciones transversales de las varillas que fueron tratadas por primera vez por DANIEL BERNOULLI; sometió al cálculo los trabajos de sus contemporáneos sobre los tubos sonoros, cuya teoría analítica fué dada por BERNOULLI en 1837; y estudió la vibración de las campanas, los anillos, los platillos y las pieles tendidas.

Continuando la obra de SAUVEUR, que quería encontrar una medida exacta del tono de los sonidos, Euler en su "Tentativa de una nueva teoría de la música" (1739) encontró en la fórmula de TAYLOR una solución más exacta del problema, pues ésta determina el número de vibraciones de una cuerda en función de su longitud, peso y tensión. Como SAUVEUR, Euler trató también de determinar los límites de percepción de los sonidos; pero obtuvo resultados demasiado variados que oscilan de 25 a 30 para los sonidos bajos y de 7520 a 4000 para los altos. En acústica, en fin, fué el primero que hiciera intervenir el frotamiento como causa del decrecimiento en forma de progresión geométrica de la amplitud del movimiento vibratorio.

Son innumerables los temas de análisis matemático relacionados ya con la mecánica, ya con la astronomía, ya con distintos puntos de la física, cuyo sabio desarrollo se encuentra en la enorme obra de Euler. Pero esos trabajos, por su mismo aspecto de matemáticas superiores, escapan por completo de los límites de nuestra obra.

Cábenos recordar, sin embargo, que en mecánica, entre los muchos puntos estudiados por Euler, su influencia se ha hecho sentir especialmente en las siguientes cuestiones: Amplió el estudio matemático de la composición de fuerzas, de velocidades y de aceleraciones, prosiguiendo la obra de STEVIN. Como no admitía ni el espacio absoluto ni el tiempo absoluto, negaba la existencia de un sistema relati-

vo de preferencia y la representación absoluta de un movimiento con ejes de coordenadas. En sus estudios de la representación del movimiento de un punto material aplicaba la "adición geométrica" de STEVIN a los vectores aunque no llegara a usar el término de "vector" (1).

Se detuvo en el estudio del movimiento del péndulo y especialmente (1773) del sincronismo de las oscilaciones y de la resistencia de la suspensión de un péndulo en una base en forma de cuchillo.

Hizo un profundo estudio analítico del choque (1746), problema que ya hemos tratado al estudiar a varios físicos y especialmente a MARIOTTE, DESCARTES, HUYGHENS, WALLIS y WREN. Pero Euler ya quería hacer derivar el estudio del choque de un estudio más general de la elasticidad marcando así el rumbo que siguieron POISSON (1816), CAUCHY (1826), POUILLET (1845), SAINT VENANT (1867), SCHNEEBELI (1871), VOIGT (1882) y NEUMANN (1885).

Euler estudió además la elasticidad bajo múltiples aspectos como ser la elasticidad de compresión y su límite, la elasticidad de las cuerdas vibrantes y de las placas sonoras en acústica y sus relaciones con la elasticidad de flexión.

En cuanto a la tenacidad, cuestión ya estudiada por ARQUIMEDES y GALILEO y tan estrechamente relacionada con la elasticidad, Euler distinguió bien "límite de elasticidad", o sea fuerza (presión o peso) suficiente para obtener una deformación permanente, de "límite de tenacidad", fuerza suficiente para la ruptura. Estos límites no están sometidos á leyes físicas generales y su estudio pertenece a la técnica industrial en los casos particulares.

Sus estudios sobre el movimiento de rotación (movimiento de rotación de un cuerpo alrededor de un punto fijo, de un eje fijo, de un eje variable) y su teoría general del movimiento del trompo, están relacionados con la mecánica y la astronomía. Euler los amplió con el estudio de la influencia del movimiento de la Tierra sobre la acelera-

(1) HOPPE, "Hist. de la Phys.", págs. 36-7.

ción, punto ya tratado por HUYGHENS, BOUGUER y CLAIRAUT y del cual debían ocuparse BORDA, DELAMBRE (1810), CORIOLIS (1835).

Estudió asimismo, analíticamente, la constancia del plano en el movimiento de rotación, hecho que pasó inadvertido a COPERNICO y que GASSENDI (1645) consideró como consecuencia lógica del movimiento de rotación.

Al hablar de GALILEO, de NEWTON, DESCARTES, KEPLERO y HUYGHENS, hemos señalado cómo, aún después de los grandes progresos de la física experimental primero y de la matemática nueva más tarde, carecían de precisión los conceptos fundamentales de mecánica acerca de fuerza, masa y trabajo. La fuerza fué durante mucho tiempo, tanto para PLATON y ARQUIMEDES como para GALILEO y KEPLERO, algo así como un espíritu (ánima) desprendido de la materia, pero KEPLERO ya lo restringió a la "causa del movimiento". Euler, en 1739, fué el primero en dar una expresión concisa de la fuerza, expresión que LAGRANGE precisó mucho más aún, razón por la cual este sabio ha sido considerado a veces como su creador.

Hemos visto que la distinción entre el concepto de masa y el de peso y de materia fué más costosa aún y que GALILEO, DESCARTES y NEWTON cometían frecuentes confusiones mientras que HUYGHENS (1668), en su "Teoría de los Choques" llegó a deslindar mejor el concepto. Euler consideró la masa como el "factor propio" de los cuerpos en movimiento, factor que, multiplicado por la aceleración, expresa la fuerza aplicada en la dirección del movimiento. En el siglo XIX, BIOT dió la definición de masa como suma de las moléculas y GAUSS dió su definición absolutamente racional que permitió precisar más aún el concepto de fuerza.

En cuanto a la noción de trabajo es más moderna todavía que los conceptos de masa y de fuerza, y precede inmediatamente el concepto de energía, creación del siglo XIX. KEPLERO, lo hemos dicho ya, distinguió en forma algo vaga la "potencia" (dínamis) de la "capacidad de poten-

cia" (energía), y GALILEO creyó deber descomponer la "energía" del cuerpo que golpea o la del cuerpo golpeado en dos momentos, el peso y la velocidad, pero confesaba no poder aclarar el punto. Euler (1751-1753) llamó "esfuerzo" la fuerza multiplicada por el espacio recorrido y llamó "trabajo", en otras obras, al peso multiplicado por el espacio recorrido.

YOUNG (1807) relacionó, el primero, el trabajo con la fuerza viva, y PONCELET (1829), precisó este concepto, que había de tomar toda su amplitud cuando la termodinámica desarrolló el estudio de la energía en la segunda mitad del siglo XIX.

Euler precedió a LAGRANGE en la noción del potencial, noción fundamental de esa base de nuestra mecánica clásica que es la "Mecánica" de LAGRANGE, y noción a la cual LAPLACE dió la forma conocida de:

$$\frac{d^2 V}{d x^2} + \frac{d^2 V}{d y^2} + \frac{d^2 V}{d z^2} = 0 \quad (1)$$

Es por este motivo que HOPPE reclama para Euler el título de creador de la noción del potencial, título otorgado por los historiadores de ciencia a LAGRANGE, quien, sin duda alguna, dió al concepto la necesaria precisión y la madurez que le permitieron darle fundamental importancia en la primera parte de su "Mecánica".

Hemos visto que HALLEY (1686) estableció la primera fórmula de medida de alturas con relación a los pesos específicos del aire atmosférico pero que faltaban a esa fórmula general las correcciones necesarias. Euler (1769) fué el primero que introdujo la corrección por temperatura después que BOUGUER (1748) volviera a ocuparse de la fórmula de HALLEY que había pasado casi inadvertida.

Agreguemos, en fin, para demostrar más aún la vas-

(1) Véase HOPPE, "Hist. de la Phys.", pág. 107; BORDEAUX, "Hist. des Sciences", pág. 32-5; MACH, "La Mécanique".

tedad de la obra de Euler, que su nombre es recordado con frecuencia en la historia del calor por haber dado, en "Fuego y su Propagación" (1738), su opinión favorable al calor movimiento de las moléculas, como es recordado en la historia de casi todos los capítulos de la física porque son pocos los trabajos analíticos en los cuales no intervengan ecuaciones establecidas por el gran matemático suizo.

Digamos, finalmente, que Euler atacó la teoría de las mónadas de LEIBNIZ con la misma altura con que atacó la emisión de NEWTON.

Sólo tres hijos de Euler le sobrevivieron: JUAN ALBERTO (San Petersburgo 1734-1800), que fué miembro de la Academia de Ciencias de Berlín y profesor de física en San Petersburgo; CARLOS (San Petersburgo 1740-1790), que se dedicó a la medicina y a la astronomía y CRISTOBAL (Berlín 1743-1812), que fué astrónomo y militar.

D'ALEMBERT (1717-1783)

Tratado de Dinámica. Vibración de las cuerdas. Principio de D'Alembert. Desviación de caída de un cuerpo. Principio velocidades virtuales y principio de conservación del centro de gravedad.

Un día de invierno del año 1717, un niño de poco tiempo fué abandonado en los escalones de la iglesia de San Juan Le Rond, en París. El comisario de policía, a quien el niño fué llevado, lo dejó al cuidado de la señora de Rousseau, esposa de un pobre obrero vidriero, y esta buena mujer lo educó con el mismo cariño que a sus propios hijos.

Este niño abandonado, recogido por caridad en la morada de un pobre obrero, debía ser el sabio más célebre de su tiempo, el protegido del gran rey Federico II, el amigo de Voltaire, el miembro descollante de todas las academias europeas.

Su padre era un oficial de artillería, el caballero Destouches, hombre honesto, que no tardó en ayudar anónimamente a su hijo natural con una renta de 1200 libras; mientras que la madre, la señora de Tencin, canonesa que había abandonado la religión para llevar una vida escandalosa, no se acordó del niño sino cuando éste llegó a la celebridad.



D'ALEMBERT

En sus primeros años, cuando llevaba aún el nombre de JUAN LE ROND que le había puesto el comisario y que más tarde cambió por el más distinguido apellido de D'ALEMBERT, frecuentó un colegio particular, que dejó a los 12 años para ingresar al Colegio Mazarino, donde permaneció hasta obtener el título de maestro en artes. Volvió entonces a la casa de sus padres adoptivos con quienes permaneció durante treinta años.

En 1740, (contaba apenas 23 años), fué admitido en la Academia de Ciencias por haber publicado dos obras que demostraban su gran preparación y que son su "Memoria sobre el Cálculo Integral" y su "Memoria sobre la Refracción de los Cuerpos Sólidos".

En 1743, publicó su célebre "Tratado de Dinámica", conceptuado como la obra más importante sobre la materia después de la de NEWTON. En ella, D'Alembert demostró que todos los problemas de movimiento pueden ser llevados a problemas de equilibrio, que todo problema de dinámica puede ser resuelto por la estática.

En 1746, escribió su "Memoria sobre la causa de los vientos", con que ganó un premio en la Academia de Ciencias de Berlín y se atrajo los favores de Federico II. Este monarca le ofreció la presidencia de la Academia en reemplazo de MAUPERTUIS que debía abandonarla por enfermedad; pero D'Alembert rechazó noblemente el ofrecimiento porque no quería "recoger la sucesión de MAUPERTUIS en vida".

En 1748, presentó a la Academia de Berlín su "Memoria sobre las cuerdas vibrantes" en que discutió, como lo hacía EULER, la afirmación de TAYLOR y de JUAN BERNOULLI, de que las cuerdas vibrantes llegan a una cicloide como única curva armónica; pero, mientras EULER afirmaba que la cuerda puede formar una línea cualquiera, D'Alembert demostró que la cuerda puede adoptar la forma de muchas otras curvas, además de la cicloide. De esta diferencia de opiniones, resultó una discusión en la que intervinieron los más grandes matemáticos de la época. (Véase EULER).

En 1749, D'Alembert publicó sus "Investigaciones sobre precesión de los equinoccios", obra astronómica que fué seguida, en 1754, por sus "Investigaciones sobre diversos importantes puntos del sistema del mundo".

Como obra filosófica y literaria de D'Alembert recordaremos su prefacio de la Enciclopedia de DIDEROT, en la que escribió además numerosos artículos, y sus "Elementos de filosofía".

Por más que su obra literaria y moral pueda ser criticada, ella demuestra que este espíritu superior no se había limitado al estudio de las matemáticas y se interesaba en todos los grandes problemas científicos y filosóficos.

Cuando el tratado de París (1763) puso fin a la Guerra de Siete Años, Federico el Grande, victorioso, llamó de nuevo a D'Alembert, pero el sabio sólo aceptó pasar tres meses en Berlín. Rehusó también la invitación que le hiciera Catalina II de Rusia para que se ocupara de la educación de su hijo. D'Alembert temía la amistad de los grandes y prefería al lujo que le ofrecían, vivir pobremente pero con libertad, en su patria, que fué, por otra parte, poco generosa con él.

Llevó así una vida modesta, pasada en gran parte cerca de la pobre mujer que lo había recogido y de quien decía: — "Soy el hijo de una buena mujer que no me dió la luz, pero me dió el pan..." Era, sin embargo, hombre de mundo refinado y frecuentaba asiduamente los salones de la señorita de Lespinasse, quien fué la pasión de su vida.

La obra científica de este geómetra, filósofo y literato, interesa especialmente las matemáticas, y es como matemático que ejerció su influencia sobre el progreso de la física, en acústica, en óptica y mecánica, con trabajos analíticos que pertenecen a la física matemática superior. Fuera de lo señalado anteriormente, recordemos, aunque muy superficialmente, algunos aspectos de esa labor analítica relacionada con la física. En primer lugar acude a la memoria el "principio de D'Alembert".

Al estudiar a HUYGHENS y a JACOBO BERNOULLI, hemos visto que el primero redujo el estudio del movimiento del péndulo compuesto al de un péndulo matemático con sólo reducir su longitud y que NEWTON, L'HOPITAL (1661-1704) y BERNOULLI ampliaron este trabajo de HUYGHENS sentando los elementos necesarios para que D'Alembert pudiese llegar al célebre principio que lleva su nombre y que establece "el equilibrio de las fuerzas perdidas durante el movimiento de un sistema solidario" y que "el trabajo virtual de esas fuerzas perdi-

das es igual a cero". D'Alembert tomó este principio como base de su "Mecánica"; LAGRANGE dedujo de él las ecuaciones generales del movimiento; y GAUSS sacó como consecuencia el "principio del menor esfuerzo" (1829), no siéndole tampoco ajeno el "principio de HAMILTON" o de la "acción variable" (1834), más directamente relacionado aún con el "principio de mínima acción" de MAUPERTUIS.

D'Alembert trató analíticamente (1771) la desviación de caída de un cuerpo debido al movimiento de la Tierra. Esta cuestión interesaba a los sabios desde hacía ya doscientos años. En efecto, TICHO BRAHE (1588) negaba la rotación de la Tierra y daba como prueba de su inmobilidad la falta de desviación hacia el oeste de un cuerpo cadente. NEWTON (1679) escribió a HOOKE que convendría realizar esta prueba de la rotación de la Tierra, pero que debía observarse una desviación hacia el Este; sin embargo, HOOKE fracasó en sus experiencias por no haber elegido una altura suficiente. El punto fué estudiado teóricamente, además de D'Alembert, por OLBERS (1758-1840), POISSON, ZOPPRITZ (1882) y experimentalmente por GUGLIELMINI (1791), BENZENBERG (1802 y 1804) y REICH (1832.)

D'Alembert colaboró eficazmente al establecimiento y al mayor estudio analítico del principio de las velocidades virtuales en cuya historia intervinieron, como ya lo hemos visto, HERON, VINCI, GALILEO, JUAN BERNOULLI, MAUPERTUIS, EULER y más tarde LAGRANGE, FOURIER, GAUSS, NEUMANN... También se ocupó del principio de la conservación del centro de gravedad en cuya historia figuran además, y después de ARQUIMEDES, HUYGHENS, NEWTON y LAGRANGE.

CANTON
(1718-1772)

Perfeccionamiento de la máquina eléctrica. Observaciones de electricidad. El electrómetro. La piro - electricidad. Magnetismo. Compresibilidad de los líquidos.

Entre los sabios que más se destacaron en el movimiento científico causado por los sensacionales descubrimientos de electricidad que acabamos de estudiar con GRAY, DUFAY, MUSSCHENBROEK y FRANKLIN, debe hacerse mención especial de Canton.

JUAN CANTON nació en 1718 en Stroud, capital del condado de Glocester, y murió en Londres en 1772. Debe ser clasificado entre los experimentadores ingeniosos más bien que entre los sabios eruditos o geniales; pero debe ser admirado sobre todo por su gran amor al estudio. Era hijo de un obrero tejedor; llegó a ser maestro de escuela y durante las pocas horas de ocio que le dejaban sus ocupaciones pedagógicas, realizó los experimentos que lo hicieron célebre.

Fué el primero en Inglaterra que reprodujera el experimento de FRANKLIN y de DALIBARD y lo realizó con el mayor éxito en 1752. Entre otras interesantes observaciones sobre electricidad atmosférica, hizo notar que muchas nubes tienen electricidad negativa, pero que las que son electrizadas positivamente parecen tener más electricidad, pues su descarga es más violenta.

En 1762, aportó un importante perfeccionamiento a la máquina eléctrica que, después de GUERICKE, había recibido grandes y numerosas mejoras que ya hemos señalado pero que recordaremos aquí:

HAWKSBEE había reemplazado el globo de azufre de la máquina de GUERICKE por un globo de vidrio en los primeros años del siglo XVIII; pero GRAY y DUFAY no emplearon máquina alguna para sus experimentos y preferían una simple barra de vidrio frotada con un paño. Durante un cuarto de siglo la máquina eléctrica fué aban-

donada, hasta que los físicos alemanes volvieron a ocuparse de ella. En 1733, BOSE (1) construyó una máquina de globo de vidrio, provista de un conductor, el cual consistía en un tubo de hojalata que, en los primeros modelos, era sostenido por un hombre aislado; pero en modelos ulteriores, este conductor fué suspendido por medio de hilos de seda. Este gran perfeccionamiento hizo que la máquina se popularizara mucho en Alemania.

En 1742, HAUSEN (2) construyó una máquina que tuvo mucho éxito: que era simplemente una máquina de GUERICKE provista de una correa y de una polea que hacían girar la bola de vidrio frotada con la mano.

WINKLER quiso perfeccionar la máquina de HAUSEN, quien era su colega en la Universidad de Leipzig, e imaginó sustituir la mano por una almohadilla de lana. Este gran perfeccionamiento no fué sin embargo adoptado por todos los físicos: NOLLET sobre todo influyó para que no se empleara en Francia, afirmando que no daba buenos resultados. Este error de NOLLET se debe probablemente al hecho de que las almohadillas que empleó no se adaptaban bien al globo de vidrio, mientras que este sabio tenía la gran ventaja de tener manos muy grandes y secas que superaban las almohadillas. WINKLER hacía girar el globo de vidrio por medio de una especie de arco cuya

(1) JORGE MATIAS BOSE (Leipzig 1710-Magdeburgo 1761), físico alemán, era profesor en Wittemberg. Durante la Guerra de los Siete Años, perdió todos sus bienes en el bombardeo de Wittemberg, fué arrestado por los prusianos y encarcelado en la fortaleza de Magdeburgo, donde murió pocos meses después. Hacia 1750 describió un experimento conocido con el nombre de "Beatificación de Bose" que consistía en electrizar una persona aislada hasta observar que su cuerpo parecía rodeado de llamas y su cabeza coronada con una aureola. Bose explicó después a WATSON que para conseguir este resultado encerraba la persona en una especie de coraza con puntas de acero. Bose comprobó que la electricidad no aumenta el peso de los cuerpos. Realizó todos los experimentos de moda y mientras CRISTIAN LUDOLF (1744) incendiaba éter por medio de la chispa, GRALATH volvía a encender una vela recién apagada y WINKLER provocaba la combustión del alcohol, de la cera, del aceite, Bose hacía otro tanto con pólvora. Hubo otro físico alemán de apellido BOSE, en el siglo XIX, que se ocupó de termoelectricidad.

(2) CRISTIAN HAUSEN (1693-1743). Matemático y físico alemán, profesor en la Universidad de Leipzig.

cuerda se arrollaba alrededor de su eje, como también lo hacían HAUSEN y GORDON; pero, más tarde, reemplazó este dispositivo por un pedal como los que se empleaban en los tornos.

WATSON construyó una máquina con cuatro globos de vidrio accionados por una misma manija y provistos, cada uno, de su almohadilla..

El padre GORDON (1) reemplazó el globo de vidrio por un cilindro, provisto de una almohadilla y accionado por un arco como en la máquina de WINKLER.

En 1746, BENJAMIN WILSON agregó el peine colector al conductor de la máquina eléctrica.

En 1750, ADAMS, constructor de instrumentos en Londres, construía una máquina de GORDON con cilindro de vidrio, manija con engranajes en lugar de arco, almohadilla de crin y cuero apoyado en el cilindro por medio de un resorte de acero (dispositivo ya empleado por WINKLER) y conductor de cobre en contacto con el vidrio por medio de dos hilos de cobre achatados. Esta máquina daba electricidad positiva y negativa según que se ponía en comunicación con el suelo la almohadilla o el cilindro de vidrio, dispositivo que fué conservado por NAIRNE (2) (1785) y VAN MARUM (1780).

En 1755, PLANTA (3) inventó la primera máquina de disco "para aprovechar las dos caras del vidrio"; SI-

---

(1) ANDREAS GORDON (1712-1751). Padre benedictino, de origen escocés, profesor en Erfurt (Sajonia). Fué el primero en producir movimiento con la electricidad con una pequeña estrella de hojalata que llamó la "estrella eléctrica" y es también inventor de la "campanilla eléctrica" que FRANKLIN colocó en su pararrayo. Su observación (1744) de que un chorro de agua proyectado por presión hidráulica de un recipiente es mayor y se esparce mejor cuando el recipiente es electrizado inicia la serie de estudios que siguen realizándose hasta nuestros días sobre la electricidad de las caídas y corrientes de agua.

(2) EDUARDO NAIRNE (Londres ?-1806), médico y físico inglés.

(3) MARTIN DE PLANTA (Sus, Engadina, 1727-1772). Físico y matemático suizo. Vivió en Londres donde estudió teología y ciencias. Fué pastor protestante en una iglesia alemana de Londres durante algunos años; luego volvió a su patria y se dedicó a la enseñanza. Se ocupó de electricidad y presentó a la Academia de Ciencias de París una memoria sobre la máquina de vapor, interesante pero sin aplicación práctica.

GAUD DE LAFOND (1) tuvo la misma idea pocos meses después; INGENHOUSZ (2) volvió a hacer el mismo invento en 1764, y RAMSDEN (3), en 1768, imaginó su máquina de discos de vidrio e hizo generalizar el empleo de este dispositivo, tal vez porque los globos y cilindros tenían el inconveniente de poder estallar durante las operaciones.

En 1762, Canton, sin conocer los experimentos que con el mismo resultado realizara BERNOULLI, observó que si se sumerge una barra de vidrio en el mercurio sale electrizada. Pensó entonces en cubrir las almohadillas de la máquina con un amalgama de mercurio y estaño y aumentó así el poder de la máquina. VAN MARUM agregó en este amalgama, el oro musivo. WAITZ, con anterioridad (1745), había cubierto la almohadilla con aceite y cera; HIGGINS (1778) y PFISTER (1853) probaron otros productos.

Después de este invento de Canton, y para terminar la historia de la máquina electrostática de frotamiento, sólo

---

(1) JOSE SIGAUD DE LAFOND (Bourges 1740-París 1810). Hijo de un relojero, médico, reemplazó a NOLLET como profesor de física en el Colegio de Louis le Grand (1760). Publicó en 1781 un compendio histórico y experimental de los fenómenos eléctricos, en el que relata su invento de la máquina de disco.

(2) JUAN INGENHOUSZ (Breda 1730-Bowood, Inglaterra, 1799). Médico holandés, ejerció su profesión en Londres, donde fué miembro de la Sociedad Real (1767). En 1768, fué llamado a Viena por María Teresa como médico de la corte puesto que conservó, con José II, con quien realizó experimentos de física y de química. Hizo importantes descubrimientos en botánica y en química. En física se conoce el aparato de Ingenhousz para la determinación del coeficiente de conductibilidad de los sólidos. Ingenhousz afirma haber inventado la máquina de disco de vidrio en 1764; haber comunicado su invento a FRANKLIN que, a su vez, lo comunicó a RAMSDEN. PRIESTLEY, en la primera edición de su "Historia de la Electricidad", consideraba a RAMSDEN como inventor de la máquina de disco; pero en la segunda edición la atribuía a Ingenhousz.

(3) JESSE RAMSDEN (Halifax 1735-Brighton 1800), fué obrero grabador; estudió y llegó a ser constructor de instrumentos; estudió más y llegó a ser un verdadero sabio. Inventó y construyó el teodolito, una máquina de dividir y la máquina electrostática que lleva su nombre. Es generalmente considerado, aunque erróneamente, como el inventor de la máquina de disco. Estudió la dilatación de los metales con procedimientos originales que fueron adoptados por otros físicos.

tenemos que recordar la máquina de cilindro de NAIRNE (1785) y la máquina eléctrica de vapor de ARMSTRONG (1840), pues las máquinas de TOEPLER (1865), HOLTZ (1) (1865) y SCHWEDOFF (1868) son máquinas de influencia y no de frotamiento.

Canton demostró que un mismo cuerpo puede producir por frotamiento, las dos electricidades según el estado de su superficie o la naturaleza del cuerpo con que se frota. Demostró así que era un error creer que los cuerpos producen siempre según su naturaleza la misma electricidad y que DUFAY se equivocaba al diferenciar las dos electricidades en "vítrea" y "resinosa", pues el vidrio puede tener electricidad positiva o negativa según que su superficie sea lustrosa o despulida o que se haya frotado con paño de lana o con piel de gato.

Perfeccionó el electrómetro (véase GRAY) suspendiendo en las extremidades libres de los dos hilos, bolitas de corcho o de médula de saúco y empleando hilos de lino o de seda, cuando quería que se separaran sólo en presencia del cuerpo electrizado o que permanecieran apartadas aun después de alejarse el cuerpo electrizado.

Hemos seguido con HALLEY, MAIRAN y BECCARIA los progresos del estudio de la aurora boreal. Debemos recordar aquí que Canton observó que en tubos vacíos de aire la electricidad provoca una luz semejante a la aurora boreal, y VAN MARIUM vió en ello la prueba de que la aurora boreal es "un derrame de sustancia eléctrica en la parte superior de la atmósfera".

En 1757, AEPINUS (2) había descubierto o recordado una observación hecha anteriormente (1703) por ho-

---

(1) GUILLERMO HOLTZ (Saatel 1836-1913), físico alemán, estudió en Berlín, Dijón y Edimburgo; desde 1884 enseñó física en la Universidad de Greifswald. Se ocupó de electricidad.

(2) FRANCISCO ULRICO TEODORO AEPINUS. (Rostock Mecklemburgo, 1724-Dopart 1802), físico alemán. Su verdadero nombre era HOCH (que significa "alto" en alemán) pero su abuelo ya lo había traducido al griego y latinizado por AEPINUS. Fué profesor libre en

landeses, de que cuando se calienta, la turmalina produce electricidad. En 1759, B. WILSON descubrió la misma propiedad en la esmeralda del Brasil; al año siguiente, Canton la descubrió en el topacio del mismo país y observó, en 1765, que en cada extremo del cristal que se calienta, aparecen electricidades contrarias y que estos polos se invierten cuando empieza el enfriamiento. Estos fenómenos, llamados de "piroelectricidad", han provocado investigaciones y teorías realizadas por físicos y mineralogos como AEPINUS, BERGMANN (1), MUSSCHENBROEK, B. WILSON, WILCKE (2), Canton, BREWSTER, GAUGAIN (1810-1880), HAUY (3), HANKEL (1814-1899), KUNDT

Rostock, luego en Berlín y, en 1757, se trasladó a San Petersburgo donde fué profesor de física, miembro de la Academia, director de la Escuela Militar y subintendente de la Escuela Normal. Publicó muchas obras de física y se ocupó especialmente de electricidad, óptica y calor. Repitió los experimentos de CANTON sobre la repartición de la electricidad en la superficie de los cuerpos y observó que si se coloca un cuerpo aislado cerca de otro electrizado, el primer cuerpo se electriza con electricidad contraria a la del cuerpo electrizado en su superficie más cercana a éste y con la misma electricidad en la superficie más alejada. Este descubrimiento de la inducción electroestática le permitió dar una explicación exacta de la "botella de Leyden" y, en colaboración con WILCKE inventó el condensador de lámina de aire o de vidrio, llamado "condensador de Aepino". La inducción electrostática destruyó la hipótesis de la atmósfera eléctrica, aun admitida por CANTON.

(1) TORBEN BERGMANN (1735-1784). Químico, físico y naturalista sueco, profesor de matemáticas y física en Upsala; miembro de la Academia de Estocolmo. Fué sobre todo químico y en mineralogía fué precursor de HAUY.

(2) JUAN CARLOS WILCKE ((Wismar, que pertenecía a Suecia, 1732-Estocolmo 1796). Estudió en Gotingue y Rostock; vivió en Berlín donde colaboró con AEPINUS. Se ocupó de calor, electricidad y magnetismo. Wilcke había observado que un cuerpo aislado próximo a un cuerpo electrizado se electriza con electricidad contraria. AEPINUS completó la observación y descubrió la inducción electrostática. Creyó descubrir una nueva fuente de electricidad en el enfriamiento de las materias en fusión, pero esto puede explicarse por el frotamiento de la substancia con el recipiente o de las moléculas mismas del cuerpo. En 1762, Wilcke construyó un electróforo pero fué VOLTA quien, en 1775, le dió su importancia. En 1772, Wilcke estudió el "calor específico" independientemente de BLACK (véase BLACK) y le dió ese nombre. Fué el primero en utilizar la fusión de la nieve para medidas calorimétricas. Se le deben también los primeros mapas de inclinación magnética. Precedió a FARADAY en su descubrimiento de la polarización dieléctrica cuando, en 1758, afirmó que las moléculas del aislador de un condensador tienen electricidades contrarias en sus extremos opuestos.

(3) RENATO HAUY (Saint Just, Picardía, 1743-París 1822). De

(1838-1894), RIECKE, los hermanos CURIE, LIPPMANN, DUHEM, LORD KELVIN, WIEDEMANN, VOIGT, STRAUBEL y otros (1).

Canton realizó numerosos experimentos sobre magnetismo; su método para imanar el acero por el magnetismo terrestre, lo hizo ingresar en la Sociedad Real de Londres; y merece recordarse también la importante observación que hizo en 1759, de que si se calienta un imán recién imanado, pierde una parte de su magnetismo y la recupera sólo en parte al enfriarse.

En 1761, Canton realizó la demostración de la compresibilidad de los líquidos. Sabemos que esta cuestión había atraído la atención de los sabios de todos los tiempos, que buscaron en vano demostrar la compresibilidad de los líquidos, negada por los antiguos. BACON (1620) comprimía una esfera de plomo llena de agua, pero no lograba sus fines, pues el agua se escapaba por los poros del metal. Desde 1661, la ACADEMIA DEL CIMENTO realizó varios experimentos distintos sin obtener mejores resultados. Trataron de comprimir agua por medio del vapor, pero la condensación de éste elevaba continuamente el nivel del agua e impedía toda observación. Trataron de comprimir agua con el peso de una alta columna de mercurio; repitieron, en 1667, los experimentos de BACON con esferas de plata que martillaban; todo fué inútil, y los académicos llegaron a considerar los líquidos como materia incompresible. A la misma conclusión llegaron otros físicos que, como MUSSCHENBROEK, BOERHAAVE y NOLLET, no pudieron tampoco demostrar la compresión de los líquidos. BOYLE, sin embargo, hizo notar que cuando el agua

---

origen pobre, se ocupó de física primero, luego de botánica y de mineralogía. Fué en esta ciencia un verdadero reformador y creador, de quien pudo decir MALLARD: "Ninguna otra ciencia es, hasta este punto, la obra de un solo hombre". En piroelectricidad se le debe una larga lista de cristales piroeléctricos y el descubrimiento de su hemimorfismo. Sus estudios de piroelectricidad son extensos. Observó la electricidad producida por la presión en los cristales, iniciando así la "piezoelectricidad".

(1) Véase el capítulo sobre piroelectricidad en CHWOLSON, "Tratado de Física", t. IX, pág. 256.

se escapaba por los poros de las esferas metálicas, lo hacía con gran fuerza y que esto podía atribuirse a la elasticidad del agua comprimida; FABRI, con experiencias parecidas, emitió la misma idea. BECCARIA, en 1757, afirmaba que el agua es compresible, pues en caso contrario no podría transmitir los sonidos.

En 1761 Canton pudo realizar el experimento decisivo. Construyó un verdadero termómetro de depósito algo grande y con agua en lugar de mercurio. Indicó el nivel del agua, luego rompió la extremidad del tubo para que el aire penetrara en su parte libre y ejerciera su presión sobre el agua. Observó así un ligero descenso del nivel, pero entendió que este descenso no se debía sólo a la compresión del agua sino también a la dilatación del recipiente por el aumento de presión interior. Corrigió esta causa de error, marcando el primer nivel del agua con el aparato bajo la campana de la máquina neumática para que tanto en el exterior como en el interior del aparato existiera un vacío relativo. Canton encontró así el valor de 0.000046, como "coeficiente de compresibilidad" del agua, valor casi exacto, que corresponde a los resultados obtenidos por PERKINS (1820), OERSTEDT (1821), STURM y COLLADON (1827), REGNAULT (1848), GRASSI (1851) y otros más cerca de nosotros como AMAGAT (1877), QUINCKE (1883), ROENTGEN (1886), SCHUMANN (1887), DIRCKS (1888), GILBAULT (1897), GUINCHANT (1901), etc. (1).

LESAGE
(1724-1803)

El primer telégrafo eléctrico.

JORGE LUIS LESAGE nació en Ginebra en 1724 y murió en 1803. Era hijo de franceses e hizo sus estudios de medicina en París. Fué preceptor durante algunos años,

(1) Véase CHWOLSON, "Tratado de Física", t. II, págs. 168-181.

luego se dedicó a la enseñanza de las ciencias. Se ocupó de filosofía y logró cierta celebridad en esa materia. Fué miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de París y perteneció a la Sociedad Real de Londres. En 1782, presentó a la Academia de Berlín una memoria en que trataba de explicar las causas de la gravitación y que tituló "Lucrecio newtoniano".

Pero no es por ninguno de estos hechos que su nombre merece figurar en la historia de la física, sino por haber sido Lesage el primero que construyera un telégrafo eléctrico.

Desde la más remota antigüedad, los hombres trataron de comunicarse a distancia ya para transmitir las órdenes de los jefes, ya para difundir las peripecias de las guerras. La telegrafía, en el sentido más general de la palabra, apareció con los primeros indicios de civilización.

El telégrafo óptico era conocido por los antiguos y consistía en altas torres en que se encendían fuegos y se hacían señales según una clave convencional, de frases en los primeros tiempos, de letras después. Ese telégrafo óptico fué empleado por los chinos, que señalaban así los movimientos de las hordas tártaras, por los griegos que así anunciaron la caída de Troya, por los cartagineses que del mismo modo se comunicaban con sus aliados de Sicilia, por los macedonios, los persas, los árabes y los romanos.

Las invasiones bárbaras hicieron olvidar este invento y es así que los galos colocaban centinelas de distancia en distancia y, por medio de gritos repetidos de uno a otro, comunicaban las noticias de un extremo a otro de Galia, con relativa velocidad.

En la Edad Media, se volvió a emplear el más sencillo telégrafo óptico cuyo uso fué general hasta el siglo XIX, y que todavía se utiliza en tiempo de guerra para señales en mar y tierra.

El entusiasmo con que los físicos del siglo XVIII estudiaron los fenómenos eléctricos y sobre todo los experimentos que realizaron sobre la conducción de la electricidad por medio de hilos o alambres, hizo presentir por algu-

nos la posibilidad de utilizar el misterioso flúido para la transmisión de señales. Sería díficil descubrir quién fué el primero en emitir esa idea, pero puede afirmarse que el hecho ocurrió hacia la mitad del siglo XVIII.

En 1753, la "Revista Escocesa" publicó una carta anónima en que se encuentra una explicación bastante racional de un telégrafo eléctrico. En 1756, FRANKLIN concibió el plano de un aparato con el mismo fin. Pero, por lo dicho anteriormente, no podemos dar mucho valor a las ideas que en aquella época fueron emitidas al respecto y sólo atribuiremos importancia a su primera realización, que se debe a Lesage.

En 1774, año en que WATT inventaba su máquina de vapor, Lesage construyó un telégrafo eléctrico que él mismo había concebido catorce años antes. Tenía 24 hilos que correspondían, respectivamente, a las letras del alfabeto. En la estación transmisora, se ponían sucesivamente en contacto con el conductor de una máquina electrostática las extremidades de los hilos que correspondían a las letras del mensaje y, en la estación receptora, se observaba el movimiento sucesivo de los distintos electrómetros que correspondían a esos hilos o letras.

Lesage no fué naturalmente el único inventor de un telégrafo eléctrico en aquella época, y su mérito es simplemente el de prioridad.

En 1787, LHOMOND en Francia, BETANCOURT (1) en España, en el mismo año, y SALVA (2) en 1796, REISER (3) y BOCKMANN en Alemania en 1794, adop-

---

(1) AUGUSTO BETANCOURT, llamado BETHENCOURT Y MOLINA. (Isla de Tenerife 1760-San Petersburgo 1824). Fué oficial del cuerpo de ingenieros al egresar de la escuela militar de Madrid. Inventó un sistema de esclusas que MONGE presentó a la Academia de Ciencias de París. El zar Alejandro I lo llamó a Rusia como jefe del cuerpo de ingenieros. Fué miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de París. Escribió una importante memoria sobre la fuerza expansiva del vapor (1790).

(2) FRANCISCO SALVA (Barcelona 1751-1828). Famoso médico español, se ocupó de electricidad, magnetismo y meteorología.

(3) SEBASTIAN REISER (Kempfenbrunn 1742-). Físico y matemático alemán.

taron dispositivos distintos que, como el de Lesage, dieron buenos resultados como aparatos experimentales, pero no pudieron ser aplicados prácticamente pues la electricidad abandonaba demasiado fácilmente los conductores.

Es así que se siguió empleando el telégrafo óptico, que había recibido grandes perfeccionamientos. HOOKE (1684) y AMONTONS (1702) había imaginado interesantes dispositivos que CHAPPE (1) (1791) supo aprovechar en el conocido telégrafo de brazos articulados, aparato que fué aceptado por la Convención y adoptado en todos los países de Europa.

La electricidad estática permitió, pues, a Lesage, constituir el primer telégrafo eléctrico, pero éste no fué mucho más que un juguete científico y para que la telegrafía eléctrica se hiciese práctica debía esperarse el descubrimiento de la electricidad dinámica por VOLTA (1799) y más aún el descubrimiento del electromagnetismo por OERSTEDT (1819). MORSE, en 1835, dió la solución práctica pero, como lo veremos al estudiar a ese sabio, muchos físicos intervinieron en la preparación de su invento.

---

(1) CLAUDIO CHAPPE (Brulon 1763-1805) era sobrino del célebre astrónomo Padre JUAN CHAPPE D'AUTEROCHE (1722-1769). Desde muy joven se ocupó de física y mecánica. Construyó su telégrafo para comunicarse con unos amigos del mismo barrio. Lo presentó a la Convención Nacional, que lo aceptó, y la primera noticia que trasmitió fué la toma de Condé a los austríacos (1794). BREGUET y BETANCOURT le discutieron sus derechos al título de inventor y esta discusión lo afectó de tal modo que se volvió neurasténico y se suicidó.

Su hermano IGNACIO CHAPPE (1760-1829) es autor de una interesante historia de la electricidad.

LAMBERT (1728-1777)

Frotamiento en las máquinas. Higrometría. Pirometría. Fotometría: iluminación y claridad. Ley de Lambert. Extensión de las leyes de propagación de la luz al calor radiante. Compresión y dilatación de los gases. Ley de Boyle-Mariotte. Calibraje tubos de termómetros. El porta-voz.

JUAN ENRIQUE LAMBERT, geómetra alemán, de origen francés, nació en 1728 en Mulhausen, que en aquella época era ciudad libre de Alsacia, y murió en Berlín en 1777.

Pertenecía a una familia modesta de protestantes franceses que habían emigrado a causa de la revocación del edicto de Nantes. Sólo por su propio esfuerzo, Lambert supo educarse y tuvo la suerte de emplearse como preceptor de los hijos del Conde de Salis, quien se interesó en su suerte y lo ayudó para que pudiera viajar y continuar sus estudios.

Adquirió amplios conocimientos en todas las ciencias y escribió obras famosas de matemáticas, física, metafísica, filosofía y astronomía.

En matemáticas, sin llegar a ocupar uno de los primeros puestos entre los matemáticos del siglo XVIII, escribió sin embargo importantes trabajos que fueron continuados por sabios como LEGENDRE (1) y LAGRANGE.

En astronomía, se ocupó especialmente de los cometas y dejó su nombre a un importante teorema.

En mecánica, se ocupó del frotamiento en las máquinas y de hidráulica. En física, en fin, escribió una obra de higrometría (1770), otra de pirometría y presentó a la Academia de Ciencias de Berlín y a la Academia de Baviera, de las que formaba parte, numerosas memorias y obras. Entre ellas nos interesa particularmente su "Fotometría" y "De las propiedades notables del camino de la luz".

(1) ADRIANO MARIA LEGENDRE (Paris 1752-1833), célebre matemático francés.

En la "Fotometría", publicada en 1760, Lambert hizo un interesante análisis de esa parte de la óptica, que ya había recibido el aporte de trabajos de KEPLERO, HUYGHENS, CELSIO y BOUGUER (véase), pero Lambert no fué muy exacto en esos métodos, pues sometía la luz a numerosas reflexiones, ignorando la polarización.

En esta obra Lambert estableció la célebre ley que lleva su nombre, después de un estudio metódico, teórico y práctico, de la propagación de la luz, en el cual demostró que la iluminación de un cuerpo —"iluminación" que distinguió perfectamente de "claridad" — está sometida a las leyes siguientes:

1º La iluminación es proporcional a la superficie del cuerpo que ilumina.
2º Es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
3º Es inversamente proporcional al seno del ángulo de incidencia con la superficie iluminada.
4º Es proporcional al seno del ángulo que hacen los rayos con la superficie que ilumina.

La exactitud relativa de esta ley ha sido demostrada para la luz y la energía radiante en general y se enuncia actualmente:

> "La cantidad de energía radiante emitida en la
> " unidad de tiempo por un elemento de superficie de
> " un cuerpo, en una dirección determinada, es propor-
> " cional al coseno del ángulo formado por esta direc-
> " ción y la normal a la superficie del cuerpo ra-
> " diante" (1).

Lambert, por otra parte, ha extendido al calor radiante las leyes de propagación de la luz en el año mismo de su muerte (1777), precediendo en este estudio a HERSCHEL (1801) pero encontrándose entre esas dos fechas las inves-

(1) CHWOLSON, t. III, págs. 256 y 303.

tigaciones de SCHEELE (1780) y la obra poco conocida de ROCHON (1783), quien demostró que rayos caloríficos acompañan siempre los rayos luminosos, pero creyó poder determinar que el máximum de rayos caloríficos se encuentra en la región del espectro correspondiente al límite entre el amarillo y el rojo.

Recordemos en fin que la "ley de Lambert" ha dado origen a importantes estudios de FOURIER, POISSON, ANGSTROM y muchos otros.

La obra de Lambert es extensa, pues este sabio tuvo el defecto de prodigarse en exceso dando libre curso a una fecundidad excepcional y dejando con frecuencia, simplemente señaladas ideas geniales que atribuímos a otros, con razón, por haberlas sabido demostrar. Es así que, en filosofía, Lambert es precursor de KANT, y, en matemáticas, su nombre figura en muchos capítulos de la historia de esa ciencia, como figura en astronomía y en física.

Señalemos aún que Lambert realizó numerosas experiencias sobre compresión y dilatación de los gases, haciendo importantes observaciones sobre la ley de BOYLE-MARIOTTE y sobre los cambios de temperatura provocados por la expansión o la compresión de un gas, estudios que son precursores de los de GAY-LUSSAC y de todos los que dieron nacimiento a la teoría mecánica del calor. En el calor debe recordarse también que se debe a Lambert el calibraje de los tubos de termómetros. En acústica, en fin, se recuerdan sus estudios teóricos y prácticos sobre el porta-voz al cual aplicó el eclipsoide y el paraboloide.

BLACK
(1728-1799)

El calor latente y el calor específico.

JOSE BLACK, el célebre químico que FOURCROY llamaba "el Néstor de la revolución química", era hijo de escoceses radicados en Francia. Nació en Burdeos en 1728 y murió en Edimburgo en 1799.

Estudió en Escocia, donde se doctoró en medicina. En 1765, su profesor CULLEN (1) le dejó la cátedra de química de la Universidad de Edinburgo para desempeñar la de medicina, y Black ocupó este cargo hasta el fin de su vida.

Black conoció a WATT en Escocia y lo ayudó con sus consejos y enseñanzas sobre el calor.

En química, su influencia ha sido enorme, tanto por sus grandes descubrimientos como por sus teorías que dividieron en dos campos a todos los químicos del tiempo. Los partidarios de STAHL (2) y de su teoría del flogisto, MEYER (3) cuyas erróneas teorías fueron sin embargo admiradas por LAVOISIER, y todos los partidarios de las teorías antiguas fueron enemigos de Black quien, además de sostener las doctrinas de sus predecesores en la química neumática como VAN HELMONT, BOYLE, FLUDD, WREN, HOOKE, MAYOW (4), JUAN BERNOULLI,

---

(1) GUILLERMO CULLEN (1712-1796). Célebre médico escocés, publicó en 1755 su memoria sobre "El frío producido por la evaporación de flúidos" en que estudiaba como LAMBERT los cambios de temperatura por cambio de tensión de los gases o por vaporización de un líquido.

(2) JORGE ERNESTO STAHL (Anspach, Baviera, 1660-Berlín 1734). Médico y químico alemán, autor de la teoría del flogisto o principio combustible contenido por los cuerpos ya en combinación, ya en libertad, en los fenómenos de combustión. Así el hierro es una mezcla de flogisto y de herrumbre, pues si se calienta el hierro, el flogisto se escapa y la herrumbre queda y si se devuelve flogisto a la herrumbre, se cambia en hierro. Esta teoría tuvo muchos partidarios. Stahl era doctor en medicina de la Facultad de Jena (1684). Después de sus célebres trabajos de química, fué nombrado profesor de la Universidad de Halle, miembro de la Academia de Berlín y médico del rey de Prusia. En medicina también escribió importantes obras y estableció teorías apreciadas.

(3) FEDERICO MEYER. Farmacéutico alemán, autor de "Ensayos de Química sobre la cal viva, la materia elástica y eléctrica, el fuego y el ácido universal". (Hannover 1764).

(4) JUAN MAYOW (1645-1679). Médico y químico inglés, miembro de la Sociedad Real de Londres.

VAN HELMONT había descubierto el gas de la fermentación y de la combustión, que llamaba "gas silvestre" en vez de ácido carbónico. BOYLE imaginó recoger los gases en un frasco lleno de agua, puesto boca abajo en un recipiente igualmente lleno, mientras WREN y HOOKE los recogían en una vejiga atada en el tubo del aparato productor.

MAYOW observó que el aire es formado por dos gases: uno indispensable a la vida y a la llama, otro en que no podrían existir.

HOFFMANN (1), MOITREL D'ELEMENT (2) y HALES (3) estableció una teoría personal sobre la influencia del aire en los alcalis en la cual el mismo LAVOISIER, sin confesarlo, encontró ideas que lo guiaron hacia su gran descubrimiento, base de la química moderna.



BLACK

En física, Black ha hecho dar un paso de gigante al estudio del calor con el descubrimiento del calor latente (1762) y del calor específico (1763) como resultado de investigaciones que inició en 1755.

(1) FEDERICO HOFFMANN (Halle 1660-1742), médico y químico alemán, amigo de STAHL, afirmó que el agua es un cuerpo compuesto; estudió el ácido carbónico del agua mineral y descubrió su acidez.

(2) MOITREL D'ELEMENT (1678-1730). Químico francés. Fué el primero en imaginar métodos prácticos de manipulación de los gases y en dar al estudio de éstos su capital importancia. Sus cursos públicos en París no tuvieron éxito y el modesto sabio se limitó a publicar un pequeño folleto con la descripción de sus importantes experimentos.

(3) ESTEBAN HALES (1677-1761). Químico y naturalista inglés; era eclesiástico y fué capellán de la princesa de Gales y canónigo de Windsor. Inventó el aparato para recoger los gases, que fué empleado por LAVOISIER, BLACK y PRIESTLEY en sus inmortales experimentos. Observó las distintas coloraciones de la chispa eléctrica según la sustancia del conductor (1748).

La primera observación de Black que dió lugar a estos estudios fué el mantenimiento del hielo y de la nieve en el aire a una temperatura superior a la que corresponde a esos estados del agua.

En 1762, Black observó que si se coloca en una misma fuente calorífica, masas iguales de nieve y de agua, el agua se calienta de 7 grados Fahrenheit en un tiempo 21 veces menor que el necesario para disolver la nieve. Este experimento de Black es bastante exacto, pues daría para el calor de fusión del hielo el valor de 82 calorías, pues 7º F. = 3.9º C, y: 3.9 x 21 = 81.9.

Otro de sus experimentos nos daría un resultado parecido, pues Black mezcló masas iguales de hielo y agua caliente y buscó cual debería ser la temperatura de ésta para lograr la fusión del hielo. Encontró que esto sucedía con agua a 176ºF o sea a 80º C.

Comprendió que "el calor oculto", "el calor latente", era necesario a la fusión del hielo y demostró que en todo cambio de estado hay absorción o devolución de calor latente. No adivinó que este calor se transforma en el "trabajo molecular" que causa el cambio de estado, pero creyó que se realizaba una verdadera combinación entre el calórico y la substancia.

CRAWFORD (1) creía que esta absorción de calor se debía a un aumento de la capacidad calorífica en el momento del cambio de estado; pero LAVOISIER hacía notar que si esto era fácil de entender en la vaporización, en la cual la materia se dilata y deja mayor espacio para el flúido calórico, no era posible en la fusión del hielo, que significa una condensación de la materia. LAVOISIER consideraba entonces el calórico como el disolvente de la materia sólida, como el agua es el disolvente de la sal, reproduciendo así una explicación ya dada por MUSSCHENBROEK.

En 1763, Black estudió la capacidad calorífica o calor específico de los cuerpos.

(1) ADAIR CRAWFORD (1749-1795), químico inglés. Dió al "calor específico" el nombre de "capacidad calorífica" empleado ya por la Academia del Cimento.

Demos algunos antecedentes históricos de esta cuestión: La diferencia de calor específico de los cuerpos había sido observada por los académicos florentinos, que habían visto que dos termómetros de líquidos distintos, sumergidos simultáneamente en un líquido caliente no se elevan con la misma velocidad y habían atribuído esta diferencia a "capacidades caloríficas" distintas para los líquidos. BOERHAAVE había realizado numerosos experimentos sobre la temperatura de mezclas de líquidos; pero había llegado a la conclusión errónea de que la temperatura de una mezcla "es igual a la mitad de la diferencia entre las temperaturas de los cuerpos mezclados".

En 1750, RICHMANN, el físico ruso que murió víctima de sus experimentos sobre electricidad atmosférica, rechazó la conclusión de BOERHAAVE y enunció que si se mezclan cuerpos homogéneos, la suma de sus temperaturas se reparte por igual en toda la mezcla y que por consiguiente la diferencia de temperatura entre dos cuerpos se reparte entre ellos proporcionalmente a su masa, o sea:

$$x = \frac{M'T' + M''T''}{M' + M''}$$

si designamos por x la temperatura de la mezcla, M' y T' la masa y la temperatura de un líquido y M'' y T'' las mismas magnitudes del otro líquido.

RICHMANN sólo se ocupaba de la mezcla de masas distintas de un mismo líquido a distintas temperaturas. Black repitió estos experimentos de RICHMANN y llegó al mismo resultado, pues sólo fué DELUC quien descubrió más tarde que la capacidad calorífica del agua varía, aunque muy poco, con su temperatura.

Black estudió después la temperatura de mezclas heterogéneas y observó que si se mezclan masas iguales de líquidos distintos, la temperatura de la mezcla no es igual a la media aritmética de las temperaturas de sus componentes. Consideró que la única explicación razonable de este fenómeno, consiste en que la cantidad de calor necesaria

para elevar la temperatura de cuerpos de misma masa en una misma cantidad de grados, varía con su naturaleza.

En 1772, WILCKE, que ya conocemos por sus estudios de electricidad, llegó independientemente de Black a resultados parecidos sobre el calor latente y la capacidad calorífica que llamó "calor específico" como también lo hacía GADOLINE (1) (1784) mientras que IRVINE, discípulo de Black, y CRAWFORD empleaban la expresión "capacidad calorífica" ya usada por los académicos florentinos. WILCKE tuvo además la idea de emplear la fusión de la nieve para medir el calor específico de los líquidos; pero encontró tantas causas de error que volvió a emplear las mezclas, dejando así a LAVOISIER y LAPLACE el honor del invento del calorímetro de hielo (1780).

En 1796, TOBIAS MAYER propuso el método del enfriamiento que fué perfeccionado por DELARIVE y MARCET, DULONG y PETIT y REGNAULT (2).

KIRWAN (3) fué el primero en dar una lista de los calores específicos de numerosos cuerpos. CRAWFORD, CLEMENT DESORMES (4), LAVOISIER y LAPLACE, GAY LUSSAC y LESLIE fueron los primeros en determinar el calor específico de los gases; pero los resultados más seguros fueron obtenidos por DELAROCHE y BERARD (1812) (5).

---

(1) JUAN GADOLINE (Abo 1760-1852), químico sueco, reemplazó a GADD (1727-1797) en la cátedra de química de la Universidad de Abo. Se recuerda su obra: "De la teoría del calor específico de los cuerpos". Su padre, JACOBO GADOLINE (1719-1802), fué también un afamado físico y químico.

(2) Véase CHWOLSON, t. VI, pág. 196.

(3) RICARDO KIRWAN (Irlanda 1735-1812). Químico y mineralogista. Fué partidario del flogisto, pero los argumentos de LAVOISIER, MONGE, BERTHOLLET y FOURCROY, le hicieron abandonar esta teoría.

(4) NICOLAS CLEMENT-DESORMES (Dijon 1779-París 1842), profesor de química aplicada en el Conservatorio de Artes y Oficios de París, fué químico e industrial. Se ocupó además de la máquina de vapor y del calor. Su polémica contra los que proponían instalar el gas de alumbrado en París, fué célebre. (GANOT, pág. 235-36; CHWOLSON, tomo VI, pág. 233).

(5) Véase CHWOLSON, tomo VI, pág. 215. Con este método, DELAROCHE y BERARD obtuvieron el premio del concurso especialmente organizado por la Academia de Ciencias.

PRIESTLEY
(1733-1804)

Su "Historia de la Electricidad". Los fenómenos físicos en los gases. ¿Precursor de Coulomb?

El gran químico y filósofo inglés, JOSE PRIESTLEY, rival de LAVOISIER, nació en 1733 en Field Head, pequeña aldea del condado de York, y murió en 1804 en Northumberland de Pensilvania, donde sus ideas avanzadas lo habían desterrado.

Era hijo de un modesto fabricante de paño que quería hacer de él un comerciante o un industrial; pero el joven Priestley ya demostraba haber heredado de su madre, un ardor religioso que lo decidió a elegir la carrera eclesiástica.

Después de una perfecta preparación teológica en la Academia de Daventry, fué nombrado pastor de una pequeña congregación, pero no supo conservar la confianza de sus feligreses debido a sus ideas teológicas poco ortodoxas. Se dedicó entonces a la enseñanza y al estudio de las ciencias en la ciudad de Leeds.

La electricidad fué lo primero que le interesó, tal vez después de haber conocido a FRANKLIN en el curso de un viaje a Londres; y, en 1767, publicó su "Historia de la Electricidad", obra importante que le dió mucha fama y le abrió las puertas de la Sociedad Real de Londres.

En el mismo año de 1767, aceptó la dirección de una nueva secta religiosa disidente, recién formada en Leeds, y vivió así seis años "muy feliz en medio de una congregación liberal, amistosa y armoniosa, sin tener que combatir ningún prejuicio y donde tuvo el campo libre..."

Fué por casualidad que Priestley empezó a ocuparse de química. Vivía cerca de una cervecería, y debido a este hecho estudió el "aire fijo" (ácido carbónico) que se desarrolla durante la fermentación.

En 1772, publicó sus "Observaciones sobre las distintas clases de aire" que dieron nuevo impulso al estudio químico de los gases.

Entre sus muchos descubrimientos químicos, que no nos incumbe estudiar aquí, destacaremos su descubrimiento del

"aire desflogistado", que LAVOISIER llamó oxígeno, y que Priestley encontró muy favorable a la respiración. Este descubrimiento fué indiscutiblemente conocido por LAVOISIER, quien realizaba investigaciones en el mismo sentido; y de esta similitud de actividades científicas, nació una rivalidad entre los dos grandes químicos y surgieron numerosas polémicas, primero entre sus amigos y luego entre los historiadores de ciencia, de sus respectivos países. (1)

De Leeds, Priestley pasó a Birmingham, donde continuó actuando en los grupos religiosos disidentes. El gobierno francés lo nombró ciudadano y miembro de la Convención, en recompensa a su valiente réplica a las "Reflexiones sobre la Revolución Francesa" en que el gran estadista BURKE pronosticaba a la Revolución las más funestas consecuencias y levantaba la opinión de toda Europa contra Francia. Pero este honor rendido al sabio por un gobierno revolucionario, exasperó los ánimos de los reaccionarios ingleses y un grupo de exaltados saquearon e incendiaron su casa (1791).

Entonces Priestley se retiró cerca de Londres, en el Colegio disidente de Hackney donde reemplazó a su adversario y amigo, el célebre pastor y escritor Ricardo Price, quien, como Priestley, había tenido por protector a Lord Shelbourne. Pero las persecuciones no respetaron el retiro del sabio quien, vencido al fin, abandonó Inglaterra, en 1794, año en que LAVOISIER moría en el patíbulo. Fuése a América, esa colonia que también se había separado de la madre patria por amor a la libertad y al progreso, y gracias a la protección del presidente Jefferson, Priestley pasó tranquilamente los diez últimos años de su vida.

Priestley fué modesto hasta la exageración cuando atribuía exclusivamente a la casualidad sus importantes descubrimientos; trabajó con poco método y publicó sin orden sus descubrimientos apenas los hacía, dejando generalmente a otros la gloria de sacar de ellos importantes consecuencias.

---

(1) Véase T. E. THORPE, "Historia de la Química"; M. BERTHELOT, "La Révolution Chimique"; HOEFER, "Histoire de la Chimie".

Es así que Priestley, que aportó los elementos necesarios a la destrucción de la teoría flogística de STAHL, conservó su fe en ella hasta el fin de su vida.

Aunque la enorme obra de Priestley — que comprende más de cien volúmenes — pertenezca a la química, la filosofía, la teología y la historia, su nombre debe figurar en una historia de la física por varios motivos: por sus descubrimientos de química, que tuvieron una sensible influencia sobre las ciencias afines, por su importante "Historia de la Electricidad" y, además, por algunos experimentos puramente físicos.

Estos experimentos se relacionan también con sus descubrimientos de química, pues cuando logró aislar y preparar los gases hasta entonces casi desconocidos (oxígeno, hidrógeno, ácido carbónico, bióxido de nitrógeno, etc.) efectuó dentro de cada uno de ellos los principales experimentos físicos destinados a descubrir la influencia que esos gases pudieran ejercer, y lo hizo con la misma entusiasta curiosidad con que BOYLE realizaba los experimentos bajo la campana de la máquina neumática.

Priestley estudió así la propagación del sonido en los distintos gases y llegó a la conclusión de que la intensidad de un sonido es proporcional a la densidad del gas ambiente, cuestión que fué estudiada después por PEROLLE (1781), CHLADNI, REGNAULT y otros. Observó también la conductibilidad eléctrica de las llamas de diversos gases y substancias, los fenómenos eléctricos dentro de los gases, el espectro de las chispas eléctricas, la fusión de los hilos por las chispas de descargas eléctricas.

Los autores ingleses suelen atribuir a Priestley prioridad sobre COULOMB en la enunciación realizada por este sabio en 1785, de la ley de atracción y de repulsión eléctricas. Para hacer dicha afirmación reproducen las palabras siquientes escritas por Priestley en su "Historia de la Electricidad" (1767): "¿No se podría deducir de esas experiencias que la atracción eléctrica está sometida a una ley común con la gravitación y que es regida del mismo modo por el

cuadrado de las distancias?". COULOMB ha demostrado experimentalmente la exactitud de la ley; Priestley se ha limitado a expresar un deseo: la demostración de la similitud entre la gravitación y la atracción eléctrica. Por otra parte, muchos sabios, y entre ellos MICHELL (1750), TOBIAS MAYER (1760), LAMBERT (1766) y BERNOULLI (antes de 1760), ya habían previsto la exactitud de la ley de COULOMB. (1)

Priestley demostró así una vez más el acierto de sus juicios científicos, pero no es necesario despojar a COULOMB de su justo mérito para aumentar la gloria del gran químico inglés.

COULOMB (2)
(1736-1806)

El frotamiento. La torsión. La balanza de torsión. Resistencia del péndulo horizontal. Ley de atracciones eléctricas y magnéticas. Pérdidas de electricidad. Su distribución en los cuerpos.

CARLOS AGUSTIN COULOMB nació en Angulema en 1736 y murió en París en 1806.

Pertenecía a una familia noble que contó varios magistrados entre sus miembros. Muy joven fué a estudiar a París; demostró tener aptitudes poco comunes para las matemáticas, pero no pudo dedicarse exclusivamente a su estudio; entró en el cuerpo de ingenieros y fué enviado a la Martinica donde permaneció nueve años dedicado a la construcción de fuertes. No pudiendo soportar el clima de esa isla, volvió a Francia y, en 1779, compartió con VAN SWINDEN el premio propuesto por la Academia de Ciencias para la mejor construcción de brújulas; en 1781 ganó otro premio por una teoría de las máquinas simples, en que se en-

---

(1) HOPPE, "Hist. de la Phys.", pág. 456.
(2) POTIER "Mémoires de Coulomb" (París 1884), publicadas por la Sociedad de Física.

cuentran sus experimentos sobre el frotamiento y la resistencia de las cuerdas.

En 1781, fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias, iniciando de inmediato activos estudios de electricidad y magnetismo. En 1784, presentó su importante memoria sobre "La fuerza de torsión y elasticidad de los hilos de metal", y durante los cinco años anteriores a la Revolución (1784-89) realizó sus inmortales trabajos sobre las leyes de la torsión, las leyes de las atracciones eléctricas y magnéticas, la teoría de la electricidad y del magnetismo y de su distribución.

Cuando estalló la Revolución, Coulomb renunció a su cargo de coronel del cuerpo de Ingenieros y de Intendente de Aguas y Fuentes de Francia.

Poco después, fué expulsado de París por ser noble y se retiró con BORDA a los alrededores de Blois. Cuando pudo regresar a París, fué elegido entre los miembros fundadores del Instituto de Francia y fué nombrado Inspector General de la Universidad.

Coulomb murió a los 70 años sin haber abandonado hasta los últimos días sus trabajos científicos y rodeado de admiradores y amigos que su valor, su honestidad y su bondad le habían conquistado.

Hemos visto que el frotamiento fué observado por HERON y tratado por VINCI, pero que AMONTONS fué el primero en estudiar científicamente el fenómeno, a fines del siglo XVII. En 1781, Coulomb estableció sus leyes y lo hizo por medio de un aparato de su invención llamado "tribómetro" (1).

Este aparato consiste en una especie de mesa en la que se coloca una caja atada de un hilo que lleva en su otro extremo un platillo y que pasa por una polea colocada al borde de la mesa. Las superficies de roce son así la mesa y el fondo de la caja; la presión se hace variar colocando pesas en la caja, y las variaciones del frotamiento son dadas por las variaciones de las pesas que deben colocarse en el platillo para provocar el movimiento de la caja.

(1) Véase CHWOLSON, T. II, pág. 433.

Coulomb encontró así que: 1º El frotamiento es proporcional a la presión; 2º independiente de la superficie; 3º independiente de la velocidad. Para encontrar el valor del frotamiento en función de la presión de las superficies, estableció una fórmula general. Llamando P esta presión, p el peso que provoca el movimiento de la caja y F la resistencia de rozamiento, podemos afirmar que, si no hubiese frotamiento, la fuerza necesaria para mover la caja se volvería (p-F) y sería igual al producto de la masa por la aceleración δ; tenemos pues la igualdad siguiente:

$$p - F = \frac{P+p}{g} . \delta$$

o sea:

$$F = p - \frac{P+p}{g} . \delta$$

Después de Coulomb, MORIN (1) en 1833, repitió los mismos experimentos, estableció cuadros en que se encuentra el coeficiente de frotamiento de muchas substancias y observó que el frotamiento es mayor en la iniciación del movimiento. Los nombres de WARBURG, BABO, MULLER (2), RENNIE, HIRN, PETROFF (3) y PAIN-

(1) El general MORIN (1795-1880), matemático francés, estudió en Metz y sirvió en la artillería; fué nombrado profesor (1839) y luego director (1852) del Conservatorio de Artes y Oficios. Se ocupó de mecánica industrial; se recuerdan sus estudios experimentales del frotamiento, resistencia de las cuerdas, sistemas de turbinas. Entre sus inventos citaremos su dinamómetro de rotación, su manija dinamométrica y su conocida máquina para el estudio de la caída de los cuerpos (GANOT, pág. 53; CHWOLSON, t. I, pág. 380).

(2) JUAN MULLER (Cassel 1809-Friburgo 1875) se ocupó también de óptica, calor y electricidad.

Se recuerda: su estudio de las interferencias (1834-35); su pinza de turmalina para el estudio de la polarización después del uso de la turmalina en idéntica forma por J. HERSCHEL; sus experiencias relativas a la ley de JOULE (1848), a la incandescencia de los hilos (1849); su estudio fotográfico del espectro y especialmente de los rayos ultravioletas (1856); sus observaciones del espectro con un prisma de sal gema (1859), y en fin su tentativa de establecer una ley de la variación de la longitud de onda de la luz por la intensidad (1871) a la que se opuso EBERT (1887).

(3) BASILIO PETROFF (Obogan 1761-San Petersburgo 1834).

LEVE (1) recuerdan otros tantos descubrimientos en el estudio del frotamiento de deslizamiento que confirman en sus puntos esenciales las observaciones de Coulomb, o que tratan de casos particulares en los cuales las leyes descubiertas por Coulomb deben ser corregidas.

Coulomb estudió también el frotamiento de rodadura cuya magnitud determinó por la fórmula:

$$F = a \frac{P}{r}$$

en que P es el peso del cuerpo, r su radio y a un coeficiente de frotamiento particular a la substancia. MORIN repitió también estos experimentos de Coulomb y confirmó sus resultados.

Coulomb estudió además, el frotamiento interior de los flúidos e imaginó un método (2) para su determinación, que fué corregido ligeramente por STOKES (1851), O. E. MEYER (3) (1887), W. KOENIG (1887) y varios otros experimentadores.

En 1784, Coulomb estudió la torsión de los hilos y de este estudio nació su invento de la balanza de torsión (1785) por medio del cual llegó al establecimiento de la ley de atracción y repulsión eléctricas y magnéticas.

Como en el frotamiento, Coulomb fué el primero en establecer las leyes de la torsión, demostrando que, para un hilo cilíndrico fijo en uno de sus extremos, la torsión producida por un par de fuerzas colocado en su extremo libre, es:

---

físico y matemático ruso, profesor de la Universidad y miembro de la Academia de San Petersburgo. Se ocupó del calor, de electricidad y especialmente del galvanismo.

(1) PABLO PAINLEVE (París 1863-1932), eminente político y matemático, egresado de la Escuela Normal y Doctor en Ciencias Matemáticas (1887), fué profesor en la Universidad de Lila y en París en la Escuela Normal, en la Facultad de Ciencias y en la Escuela Politécnica. Desde 1900 perteneció a la Academia de Ciencias de la que fué secretario perpetuo.

(2) CHWOLSON. "Tratado de Física', tomo II pág. 269.

(3) O. E. MEYER (1834-1909), físico alemán que se ocupó de elasticidad, viscosidad, frotamiento interno de los gases, el péndulo horizontal y, en óptica, de la dispersión anormal.

1º independiente de la tracción; 2º proporcional al par de fuerza y a la longitud del hilo; y 3º inversamente proporcional a la cuarta potencia del radio.

Estas leyes se encuentran expresadas en la siguiente fórmula:

$$\varphi = C \frac{P.\ l}{r^4}$$

en que P es el par de fuerza (momento de torsión) o sea la fuerza necesaria para producir una torsión de un ángulo φ, l la longitud del hilo, r el radio de su sección y c un factor que depende de la naturaleza de la substancia.

Si establecemos que:

$$\frac{1}{c} = F, \text{ y que: } \frac{F\ r^4}{l} = f$$

tendremos: $P = f.\ \varphi$ (1)

Y este factor f es el módulo de torsión de Coulomb para el hilo estudiado.

Los principales continuadores de Coulomb en el estudio de la torsión fueron SAVART (1829) GAUSS (1833) y WERTHEIM (1857), y se extendieron las leyes de Coulomb a las varillas cilíndricas en que se confirmaron y a las varillas de sección cualquiera para las cuales fueron necesarias algunas correcciones a dichas leyes.

Coulomb aprovechó sus descubrimientos sobre la torsión de los hilos inventando la "balanza de torsión" o "balanza eléctrica de Coulomb", de la que no daremos la descripción, por encontrarse en los textos de física (2).

En su memoria de 1785, Coulomb presentó el nuevo aparato en los siguientes términos:

(1) CHWOLSON, tomo II, pág. 395; POGGENDORF, pág. 541.
(2) CHWOLSON, tomo IX, pág. 280.

" En una memoria dada a la Academia en 1784, " he determinado experimentalmente, las leyes de la " fuerza de torsión de un hilo de metal y he encontra- " do que esta fuerza es proporcional a la cuarta poten- " cia del diámetro del hilo de suspensión, a la inversa " de su longitud, multiplicándose todo por un coefi- " ciente constante que depende de la naturaleza del me- " tal y que es fácil determinar por la experiencia.

" He hecho ver en la misma memoria que por me- " dio de esta fuerza de torsión, era posible medir con " precisión, fuerzas muy pequeñas, como por ejem- " plo, $\frac{1}{10.000}$ de grano (0.005 dina). He dado en la mis- " ma memoria una primera aplicación de esta teoría, " buscando evaluar la fuerza constante atribuída " a la adherencia en la fórmula que expresa el frota- " miento de la superficie de un cuerpo sólido en movi- " miento en un flúido.

" Presento hoy a la Academia una balanza eléc- " trica construída sobre los mismos principios ; mide " con la mayor exactitud el estado de la fuerza eléctrica " de un cuerpo, por débil que sea el grado de la electri- " cidad... (sigue la descripción de la balanza)"

Coulomb no fué sin embargo el primer inventor de una balanza de torsión pues, como ya lo hemos visto, lo precedió JUAN MICHELL (1), quien realizó este invento (2) para el método de determinación de la densidad media de la Tierra que fué seguido por CAVENDISH (Véase BOUGUER).

A raíz de su estudio de la balanza de torsión, Coulomb se detuvo en la determinación de la resistencia del aire en un péndulo horizontal y llegó a conclusiones que sirven de base al estudio muy completo de POISSON (1808), el cual fué ampliado por AIRY (1830), STOKES (1851) y O. E. MEYER (1871). Recordemos que el problema de la re-

(1) JUAN MICHELL (¿1742 -1793). Astrónomo y geólogo inglés.
(2) GANOT, pág. 70.

sistencia al movimiento del péndulo había sido estudiado por GALILEO (la resistencia del aire crece con la velocidad), por NEWTON (péndulo cicloidal), por J. HERMANN, D. BERNOULLI, EULER...

En la misma memoria que acabamos de citar, después de la descripción de la balanza, Coulomb agregaba:

> " Daremos como ejemplo el medio de que nos he-
> " mos valido para determinar la ley fundamental según
> " la cual los cuerpos electrizados se repelen: la fuerza
> " repulsiva de dos pequeños globos electrizados con la
> " misma electricidad es inversamente proporcional al
> " cuadrado de la distancia entre los centros de los dos
> " globos".

En otra memoria del mismo año de 1785, Coulomb llegó "por un método absolutamente diferente al primero, a un resultado igual; así que podemos concluir que la atracción recíproca del flúido eléctrico llamado positivo, sobre el flúido eléctrico generalmente llamado negativo, es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias; lo mismo que hemos encontrado en nuestra primera memoria, que la acción recíproca de un flúido eléctrico de misma naturaleza es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias".

Esta ley, que es más exacta para cuerpos colocados a una distancia muy grande relativamente a sus dimensiones, es también aplicable a las acciones magnéticas; y en los dos casos puede expresarse:

$$f = \frac{m. m'}{r^2}$$

en que f es la acción magnética o eléctrica, m y m' las masas y r la distancia entre sus centros (1).

En el establecimiento de esta ley de las acciones mútuas eléctricas, Coulomb tuvo también predecesores y

(1) CHWOLSON, t. IX, págs. 39 y 279; t. X, pág. 12; GANOT, pág. 586 y 732.

sobre todo CAVENDISH, quien estableció la misma ley en 1773. Pero el manuscrito de este sabio permaneció inédito e ignorado hasta 1879, fecha en que MAXWELL lo sacó del archivo de la Universidad de Cambridge, para darlo a publicidad. (Acerca de los derechos de PRIESTLEY como predecesor de Coulomb en el establecimiento de esta ley, véase lo expresado en la biografía de aquel sabio).

Sin pretender con ello disminuir en nada el alto valor y la absoluta originalidad de los trabajos de Coulomb, sería tal vez más justo llamar a la balanza o dinamómetro de torsión "balanza de COULOMB-MICHELL", y a la ley de las acciones mútuas "ley de COULOMB-CAVENDISH", asociando al nombre del gran sabio francés los nombres de sus colegas ingleses que fueron sus predecesores, aunque no sus inspiradores. Se realizaría así un acto de justicia, semejante al que se debería hacer con BOYLE, asociando su nombre al de MARIOTTE, para designar la ley que establecieron independientemente.

Coulomb era partidario de la teoría de las dos electricidades y consideraba que las moléculas de cada uno de los dos flúidos se repelen entre sí y se atraen de uno a otro, y que estas atracciones y repulsiones siguen la ley que acabamos de estudiar. Negaba, como ya lo hicieran AEPINUS y WILCKE pocos años antes, la existencia de una atmósfera eléctrica formada por efluvios emanados de los cuerpos electrizados como creían los primeros experimentadores y el mismo CANTON; pero afirmó que acciones mútuas se deben a una "acción a distancia".

Coulomb estudió analíticamente y experimentalmente, las pérdidas de electricidad ya estudiadas, poco antes, por ACHARD (1777).

En 1787, Coulomb estudió la distribución de la electricidad en los cuerpos (1), cuestión que había preocupado a WAITZ (1745). Para esto se servía de un "plano" o una

(1) GANOT, pág. 706; CHWOLSON, t. IX, pág. 132.

"esfera de prueba" y observó que la distribución en la superficie de los conductores no es uniforme y varía con su forma. Estudió sobre todo, esta distribución sobre un cilindro terminado por dos hemisferios, sobre láminas circulares y rectangulares y sobre esferas en contacto.

Coulomb estableció en fin que en los conductores sólo puede haber electricidad en la superficie, mientras que en los dieléctricos la electricidad se distribuye en todo su volumen. Esta afirmación confirmada por la experiencia es además una consecuencia matemática de la ley de Coulomb (1).

POGGENDORF dice: "Los trabajos de Coulomb forman, puede decirse, la base de todas las investigaciones que han sido hechas en electricidad estática, no sólo en el siglo XVIII, sino también en el siglo XIX". Es así que vemos los trabajos analíticos de POISSON, LAPLACE, GREEN, WEBER, GAUSS y otros físicos matemáticos tomar como base de sus investigaciones las determinaciones tan exactas de ese gran sabio francés.

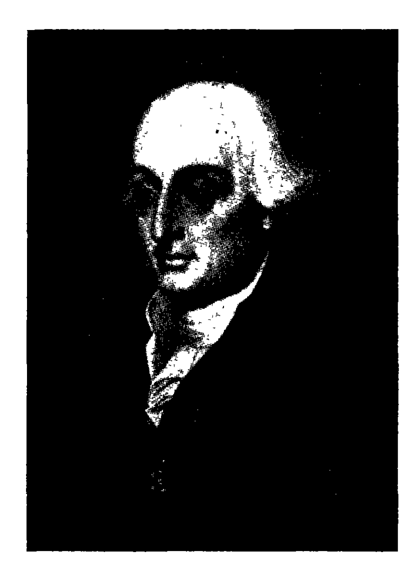
LAGRANGE
(1736-1813)

En mecánica: Principio de la conservación de la fuerza viva. Principio de la conservación del centro de gravedad. Principio de la conservación de los planos. Principio de la menor acción. Principio de las velocidades virtuales. Principio de D'Alembert. Teoría del potencial. Concepto de fuerza. Las ligaduras de Lagrange. En acústica: Sonidos diferenciales. Cuerda vibrante. Placas vibrantes.

LUIS JOSE CONDE DE LAGRANGE nació en Turín en 1736 y murió en París en 1813. Italiano de nacimiento y de educación (permaneció en Turín hasta los 30 años),

(1) GANOT, pág. 736; CHWOLSON, t. IX, pág. 38 y siguientes.

francés de origen (pertenecía a una antigua familia de Turena que había contado a DESCARTES entre sus miembros), y habiendo vivido sus años más gloriosos en Francia, donde ocupó altos cargos oficiales y en cuyo Panteón descansan sus restos, se teme cometer una injusticia al decir cuál ha sido la verdadera nacionalidad de ese gran geómetra, pero nos parece acertada la expresión de WIELEITNER cuando llama a Lagrange "un francés nacido en Turín" (1).



LAGRANGE

Fué de esos grandes hombres en quienes se define desde la infancia, la superioridad intelectual. A los diez y nueve años enseñaba matemáticas en la Escuela de Artillería de su ciudad nativa y resolvía una cuestión de matemática superior propuesta por EULER a los sabios europeos. Tres años más tarde era miembro fundador de la Academia de Turín y el primer volumen de las Memorias de esa Sociedad (1759)

(1) WIELEITNER, "Hist. de la Matemát.", pág. 175.

era formado principalmente por los trabajos de Lagrange, entre los cuales debe citarse especialmente su estudio de la propagación del sonido.

En 1764, obtuvo el premio de la Academia de Ciencias de París por su teoría de la libración de la Luna y dos años más tarde por la teoría de los satélites de Júpiter.

Cuando fué a París, D'ALEMBERT, CLAIRAULT, CONDORCET (1), NOLLET y otros miembros de la Academia de Ciencias lo acogieron con afecto y consideración, y cuando EULER dejó Berlín para ir a San Petersburgo, D'ALEMBERT rehusó la invitación de Federico II para ocupar la dirección de la Academia de Berlín pero recomendó a Lagrange, quien se fué a Prusia en 1766.

Cuando murió Federico II, Lagrange rehusó las invitaciones de Nápoles, de Cerdeña y de Toscana, para aceptar la solicitud de Mirabeau y se trasladó a París (1787), donde Luis XVI lo nombró pensionista veterano de la Academia a la que pertenecía como asociado extranjero desde unos 15 años atrás, y donde escribió, a los pocos meses de su llegada, su célebre "Mecánica analítica" (1788).

Durante la Revolución, Lagrange colaboró al establecimiento del sistema métrico y formó parte del Directorio de la Moneda; y durante la Convención, gracias a la intervención de GUYTON DE MORVEAU, pudo permanecer en Francia a pesar del decreto que expulsaba a todos los extranjeros.

---

(1) JUAN ANTONIO NICOLAS CARITAT, MARQUES DE CONDORCET (Ribemont, Picardía, 1743-cárcel de Bourg-la Reine 1794). Hasta los ocho años, su madre, que lo había dedicado a la Virgen, lo vestía de niña y lo educaba como tal, lo que no le impidió destacarse pronto por su amor al estudio. En 1765, presentó a la Academia un "Ensayo sobre cálculo integral" y cuatro años más tarde pertenecía a esa sociedad, de la que fué Presidente y donde pronunció sus célebres elogios de sabios, por los que VOLTAIRE lo llamaba "Señor más que Fontenelle". En 1782, entró en la Academia Francesa. Como miembro de la Convención, pidió para Luis XVI "la pena mayor menos la muerte". Este aristócrata era sinceramente republicano; pero su actitud humanitaria lo hizo sospechoso; arrestado, se envenenó en la cárcel prefiriendo esta muerte a la guillotina, que dos meses más tarde tronchaba la cabeza de LAVOISIER. Condorcet ha sido un gran matemático y más aún, un pensador profundo y bueno que quería someter todos los actos humanos a la sensibilidad natural del alma.

El Imperio lo hizo senador, gran oficial de la Legión de Honor, profesor de la Escuela Normal y de la Politécnica, miembro de la Junta de Longitudes y del Instituto; y Napoleón, que sabía reconocer el mérito de los que fuera de los campos de batalla defendían también y mejor la gloria de Francia, nombró al geómetra, conde del Imperio.

Lagrange murió en París en 1813, último año de las victorias napoleónicas, y sus restos fueron llevados con grandes honores al Panteón donde descansan en medio de los más gloriosos hijos de Francia.

Como las obras de sus grandes contemporáneos, EULER y D'ALEMBERT, la de Lagrange pertenece casi enteramente a las matemáticas y es como matemático que este sabio ha podido influir sobre el progreso de la física y de otras ciencias. La aritmética, el álgebra, el análisis, la geometría, la trigonometría esférica y la astronomía llevan las mejores pruebas de la altura de su genio.

Los principales y más valiosos aportes de Lagrange a la Física son su obra de Mecánica y sus estudios de Acústica.

En mecánica, Lagrange supo reunir los grandes principios elaborados por toda esa pléyade de sabios del siglo XVIII que sometieron la física y especialmente la mecánica al profundo análisis de la Matemática Nueva. Con estos principios, ampliados por él mismo, dió a la mecánica una base tan firme, un equilibrio tan perfecto que, desde entonces, ese conjunto sólido y armónico, pudo ser llamado la "Mecánica Clásica". Pero, desde entonces también, con sus vastos desarrollos matemáticos, la mecánica se independizó definitivamente de la física propiamente dicha y, sin fundirse tampoco con la matemática, formó algo así como una zona intermedia entre estas dos ciencias.

El "principio de la conservación de la fuerza viva" cuya elaboración hemos seguido a través de la obra de GALILEO, DESCARTES, HUYGHENS, LEIBNIZ, JUAN BERNOULLI, DANIEL BERNOULLI y EULER, fué desarrollado por Lagrange, quien, recogiendo la distinción de

LEIBNIZ de fuerzas muertas y vivas, distinguió las fuerzas activas (con cambio de lugar) de las fuerzas pasivas (resistencias) y amplió el principio, tomándolo como primer punto de apoyo de toda la mecánica. En este desarrollo, el principio se vuelve también "principio de conservación del trabajo" y ya nos hace entrever toda la vasta y magnífica obra del siglo XIX acerca de la energía y de la termodinámica.

El segundo punto de apoyo de la mecánica de Lagrange es el "principio de la conservación del centro de gravedad" señalado en las obras de HUYGHENS (y aun de ARQUIMEDES), de NEWTON y de D'ALEMBERT, pero extendido por Lagrange a fuerzas en direcciones cualesquiera.

El tercer punto de apoyo puede ser encontrado en el "principio de la conservación de los planos" que deriva del estudio de KEPLERO de la rotación de los planetas, que NEWTON aplicó al estudio de la rotación alrededor de un centro fijo, que EULER y simultáneamente D. BERNOULLI, precisaron, dándole la forma siguiente: "La suma de los productos de la masa de cada cuerpo por la velocidad de rotación y la distancia del centro fijo es independiente de la acción de los cuerpos uno sobre otro". Enunciado que D'ARCY llamó "principio de la acción" y redujo a: "La suma de los productos de las masas por las velocidades de circulación y las distancias del centro en las direcciones de los cuerpos es constante". Lagrange dió a este principio la forma actualmente admitida cualquiera sea el texto preciso del enunciado: "En los movimientos de varios cuerpos alrededor de un centro fijo, la suma de los productos de la masa de cada cuerpo por las superficies proyectadas sobre un plano es proporcional a los tiempos".

Otra base de la Mecánica de Lagrange es su desarrollo del "principio de la mínima acción" que es, como lo hemos visto, obra verdadera de MAUPERTUIS y que fué sometido a un riguroso análisis y generalizado y aplicado a una multitud de problemas por EULER, defensor de los derechos de MAUPERTUIS a esta valiosa conquista científica. Hemos dicho también (véase MAUPERTUIS) que La-

grange generalizó más aún ese principio aunque le agregara la condición necesaria de que fuese aplicado a sistemas sometidos al "principio de conservación de las fuerzas vivas", y hemos recordado que este sabio dedujo de aquel principio las ecuaciones del movimiento...

Pero la revisión y ampliación de cualquiera de esos principios generales de la mecánica, que se engranan tan perfectamente unos en otros, impone el ajuste general de todos ellos. Es así que Lagrange llegó también a dar su expresión completa y ahora clásica al "principio de las velocidades virtuales" cuya historia hemos seguido a través de HERON, VINCI, STEVIN, GALILEO, JUAN BERNOULLI, MAUPERTUIS, D'ALEMBERT y EULER. Dió Lagrange la mayor generalización a ese principio elaborado a través de tantos siglos; le dió su más perfecta aplicación y el lugar de preferencia en la mecánica, así como un enunciado amplio y preciso:

> "Cuando un sistema cualquiera, de un número " cualquiera de cuerpos o de puntos, de los cuales cada " uno está sometido a una fuerza cualquiera, está en " equilibrio, y cuando se da a este sistema un pequeño " movimiento cualquiera, en virtud del cual cada pun- " to recorre un camino infinitamente pequeño, la su- " ma de todas las fuerzas, multiplicada cada una por " el camino recorrido por el punto sobre el cual actúa " en la dirección de la fuerza, es igual a cero".

Lagrange dedujo de allí las ecuaciones necesarias al equilibrio, pero buscó en vano, como lo hicieran D'ALEMBERT y FOURIER, la "prueba" del principio, prueba que GAUSS consideró imposible establecer (1).

---

(1) Dice BOUASSE en "Del Método en las Ciencias", pág. 158, sin citar el nombre de LAGRANGE:

> " Un ilustre sabio ha pretendido dar una demostración del prin- " cipio del trabajo virtual. Que se reflexione un instante y se verá " lo absurdo de semejante proyecto o, si se quiere, de tal lenguaje... " No se demuestra un postulado."

El célebre principio o teorema sobre el cual D'ALEMBERT fundó su mecánica y cuyos antecedentes se encuentran en HUYGHENS, JACOBO BERNOULLI, NEWTON y L'HOPITAL, fué también ampliado por Lagrange quien dedujo de él las ecuaciones generales del movimiento y le dió con su generalización su forma moderna. (Véase D'ALEMBERT).

Como lo hemos dicho, Lagrange sucedió a EULER en Berlín, y es curioso observar cómo en casi todas sus investigaciones ha ampliado y generalizado la obra del gran matemático de Basilea y cómo estos dos sabios han seguido derroteros paralelos.

En la teoría del potencial ya hemos destacado (véase EULER) que, como en tantos otros puntos, la influencia decisiva de Lagrange debida a una vasta generalización, ha inducido a los historiadores de ciencia a atribuirle casi todo el mérito del descubrimiento, pero señalamos que allí también habría sido precedido por EULER, dando fe en ello al trabajo del historiador alemán HOPPE, quien reclama para EULER la prioridad de la noción del potencial aún cuando su compatriota BACHARACH en su obra especial "Historia de la Teoría del Potencial" (1883) daba todo el mérito a Lagrange, siendo este concepto recogido por las obras posteriores.

HOPPE también considera que EULER precedió a Lagrange en la expresión clara del concepto de fuerza, que este sabio expuso sin hacer referencia a EULER.

En la Mecánica de Lagrange debe señalarse en fin como un concepto original lo que se llama las "liaisons de Lagrange", concepto que le permite abandonar el "punto material" en el estudio de los sistemas materiales, imaginando algo así como varillas o tensores ideales, desprovistos de frotamiento, que HERTZ llamó "enlaces sólidos". Pero no podemos detenernos más en el estudio de la Mecánica de Lagrange que, como lo hemos dicho, escapa de los dominios de la Física.

Pasemos pues a la Acústica. En sus "Investigaciones sobre Propagación del Sonido" (1762), Lagrange quiso en vano poner de acuerdo con la teoría de NEWTON a EULER, que la encontraba exacta para la propagación en un solo impulso, pero inexacta para varios impulsos, cuando cada uno acelera al siguiente; y explicaba la observación de EULER suponiendo, sin probarlo, que la ley de BOYLE-MARIOTTE no es rigurosamente exacta y que el aire es más compresible de lo que ella indica.

En 1795, Lagrange dió una interesante y sencilla explicación de los sonidos diferenciales (1) que atribuyó a pulsaciones más rápidas; esta explicación, aprobada por YOUNG (1800), fué fuertemente discutida por HELMHOLTZ. Estos sonidos diferenciales suelen ser llamados "sonidos tartínicos" por atribuirse su descubrimiento a TARTINI (2), en Padua en 1754; pero deben citarse como primeros observadores a ANDREAS SORGE (1703-1788), en Hamburgo en 1744, y a ROMEU, en Montpellier en 1753.

Al hablar de TAYLOR, de EULER y de D'ALEMBERT, hemos visto que Lagrange tomó parte en la discusión que sostuvieron estos otros sabios matemáticos sobre la forma de una cuerda vibrante, y que propuso una explicación en que se daba razón a BERNOULLI en algunos casos y a EULER en otros, explicación que no puso fin a la discusión, continuada en fecundas memorias.

Lagrange se ocupó también de las vibraciones de las placas, estudiadas por su contemporáneo CHLADNI, y dió la ecuación general del fenómeno.

---

(1) CHWOLSON, "Tratado de la Física", tomo III, pág. 197.

(2) JOSE TARTINI (Pirano, Istria, 1692-Padua, 1770), violinista y compositor italiano, llamado el "maestro de las naciones", habla en su "Tratado de la música según la verdadera ciencia de la armonía", del "tercer sonido", que se oye cuando se producen simultáneamente dos sonidos de números de vibraciones distintos y observó que este sonido es más grave y que tiene el número de vibraciones igual a la diferencia de los otros dos. Por otra parte, en esta obra de Tartini falta a menudo claridad y precisión.

Después de este breve aspecto de la vida y de la obra de Lagrange, debemos agregar que poseía las más hermosas virtudes y que en una época en que la honestidad científica era sumamente rara a pesar de las grandes fórmulas de cortesía y de las exageradas manifestaciones de modestia que caracterizaban las relaciones entre sabios, Lagrange demostró en todos sus actos una integridad, una modestia y una sinceridad excepcionales.

WATT
(1736-1819)

La máquina de vapor. Calor de vaporización.

Los descubrimientos de BLACK, hicieron ver bajo nueva luz los fenómenos del calor, y las máquinas térmicas debían forzosamente beneficiar de la influencia de este progreso, pero esta influencia fué activada aún gracias a la eficaz intervención del espíritu ingenioso y fecundo de WATT. La vida y la obra de este sabio mecánico forman un sólo conjunto, y no las separaremos por consiguiente en su estudio.

JAIME WATT nació en la pequeña aldea de Greenock, en Escocia, en 1736, y murió en Heathfield, cerca de Birmingham en 1819. Su nombre es el que se destaca con más brillo en la historia de la máquina de vapor, y sin llegar al extremo de decir como DAVY que es "quizá el hombre más eminente que su país ha producido", no se puede dejar de reconocer que ha sido uno de los más grandes mecánicos de la historia y un carácter que será siempre un benéfico ejemplo para la humanidad.

Tomasio Watt, abuelo del inventor, era hijo de agricultores y llegó a ser magistrado y matemático a fuerza de perseverancia en el estudio; Jaime Watt, su padre, era magistrado también, pero se ocupó sobre todo de la construc-

ción de navíos y de comercio. En su infancia, Watt, que gozaba de poca salud, no pudo seguir regularmente sus estudios, pero, educado en un hogar culto y pasando largas horas en el taller de su padre, desarrolló conjuntamente su inteligencia y su habilidad. A la edad de diez y ocho años, encontrándose en mal estado los negocios de su familia, tuvo que buscar empleo y se fué a Glasgow con intención de aprender el oficio de constructor de instrumentos de matemática. Pocos meses después (1755), decidió marcharse a Londres donde esperaba encontrar mejores condiciones para desarrollar sus conocimientos. Después de muchas diligencias, pudo emplearse en el taller de instrumentos astronómicos y matemáticos de JOHN MORGAN, donde muy pronto se hizo notar por su disposición especial, y su fama se extendió en toda la ciudad, mereciendo el joven Watt la consideración de hábiles y sabios mecánicos como JUAN DOLLOND, HARRISON, y el joven RAMSDEN. Su estada en Londres fué corta, apenas un año, pues un resfrío mal cuidado lo obligó a tomar descanso, y volvió a su casa. Cuando los aires de Escocia le devolvieron la salud, se fué a Glasgow con el propósito de establecer un taller, pero la corporación de oficios de esa ciudad no se lo permitió, pues no reunía las condiciones reglamentarias exigidas. Consiguió en 1757, el puesto de mecánico de la Universidad y entró en relación con los profesores ADAM SMITH, ROBERTO SIMSON, JUAN ANDERSON (1) y JOSE BLACK quienes lo tomaron bajo su protección.

En 1760, cuando la corporación de oficios autorizó su instalación, abrió un pequeño taller en sociedad con John Craig, sin abandonar por esto su trabajo en la Universidad.

Un día del año 1763, tuvo que componer un modelo reducido de una máquina de NEWCOMEN para la Universidad y, observando sus principales defectos, estudió de-

(1) JUAN ANDERSON nació en 1726 en Roseneath en el Condado de Dumbarton (Inglaterra) y murió en 1796. Fué educado en la Universidad de Glasgow de la que fué nombrado profesor de lenguas orientales en 1756 y de "filosofía natural" cuatro años más tarde. Anderson fué un verdadero vulgarizador y se ocupó activamente de la instrucción del obrero.

tenidamente los perfeccionamientos que su clara visión de mecánico le hacía vislumbrar. Hacía ya varios años que el problema de la máquina de vapor había atraído su atención, pues JUAN ROBISON, entonces estudiante, le había confiado un proyecto de construcción de un coche de vapor y Watt, entusiasmado, había estudiado las principales obras que trataban de la construcción de máquinas de vapor.

En poder de una máquina de NEWCOMEN, empezó a realizar numerosos experimentos. Dióse cuenta primero, de la gran pérdida de calor realizada por la máquina y trató de remediar este defecto aislando la caldera por medio de duelas de barriles y aislando también los tubos; pero pronto encontró que el punto débil de la máquina era el cilindro, que perdía mucho calor por conducción y por el enfriamiento de la condensación, que además se realizaba incompletamente. Dirigió entonces todos sus experimentos hacia el ahorro del calor empleado o más bien malgastado en la máquina de NEWCOMEN, y llegó, según sus propias palabras, a determinar:

"Las capacidades caloríficas relativas del hierro, " del cobre y de las distintas maderas, en función de la " capacidad calorífica del agua; la relación entre los vo- " lúmenes del vapor y del agua que lo produce; la can- " tidad de agua vaporizada por cada unidad de peso de " carbón; la elasticidad del vapor a diversas tempera- " turas; la cantidad de agua gastada, por cada golpe de " émbolo en una máquina NEWCOMEN; y la can- " tidad de agua necesaria para la condensación."

Este estudio científico y metódico de todos los factores que influyen sobre el rendimiento de la máquina lo llevaron muy pronto a los grandes descubrimientos que tanto la perfeccionaron.

De esta labor de investigación, la Historia de la Física debe recordar especialmente las medidas del calor de vaporización efectuadas por Watt por indicación de BLACK, quien fué el primero en tentar dicha determinación. Watt estableció así la ley que lleva su nombre y según la cual la

cantidad de calor que transforma un peso determinado de agua en vapor saturado es siempre la misma, y este calor de vaporización disminuye cuando la temperatura aumenta.

La ley y las medidas de Watt dieron lugar a numerosos trabajos y discusiones. Watt dió valores de 559 unidades de calor a 63° c. con presión de 1/3 de atmósfera y 624 para agua a 0° y presión atmósferica. RUMFORD (1812) dió el valor de 567, URE (1818) 537, 22, DESPRETZ (1813) de 513 a 540, CLEMENT y DESORMES 532, BRIX (1842) 550 y REGNAULT que confirmó la ley de Watt obtuvo valores de 562,5 a 471,2 para temperaturas entre 63° y 195° y de 536.67 para 100° También merece recordarse que Watt fué el introductor del concepto de "trabajo" en la industria con el "pie-libra" y la "fuerza caballo" (horse-power: HP).

En 1764, Watt se casó con su prima, Margarita Miller, y para poder dedicarse por completo a su nueva industria, renunció a su puesto en la Universidad.

Fué en los primeros meses del año siguiente, que al pasearse tranquilamente, un domingo de tarde, en el campo, entregados sus pensamientos a su constante preocupación, se formó casi de repente en su espíritu la idea del mayor de los grandes perfeccionamientos de la máquina de vapor: la separación del condensador del cilindro a fin de concervar a éste todo su calor. Inútil es insistir sobre la importancia mecánica de este descubrimiento, ni sobre la exactitud del concepto científico de alejar la fuente caliente de la fuente fría para que "la caída de calor", como dijera SADI CARNOT, fuése más grande. Más adelante veremos qué estrecha relación tiene este descubrimiento con los principios fundamentales de la termodinámica.

Los inventos de Watt se sucedieron naturalmente, en los años siguientes, como consecuencia de su idea capital. El doctor BLACK lo había puesto en relación con un rico médico, el doctor ROEBUCK, quien, interesado en cuestiones industriales, siguió apasionadamente los estudios de Watt y, en 1767, se asoció con él. Watt, entregado a su invento, había abandonado mucho el trabajo que servía de sostén a su familia y se encontraba en la mayor pobreza.

ROEBUCK pagó todas sus deudas le ofreció el capital necesario para la fabricación de las máquinas, a cambio de las dos terceras partes de los beneficios que esta fabricación podía aportar.

El año 1769 fué para el inventor lleno de acontecimientos. Terminó su primera máquina y pidió la patente necesaria, pero pronto se descorazonó completamente al ver que no funcionaba como lo había esperado. En este estado de espíritu, aquel hombre enfermo y naturalmente predispuesto a la tristeza y a la desesperanza, perdió a su mujer, que siempre lo había alentado, y se vió cerca de la miseria con cuatro hijos, sintiéndose además responsable de la probable ruina de su socio y protector. En ese momento apareció providencialmente en su vida el rico e inteligente industrial MATEO BOULTON (1), quien le ofreció su considerable capital y su gran práctica del comercio, entrando también en la sociedad.

En 1774, Watt se instaló cerca de la gran usina que su nuevo socio había hecho construir en Soho, a dos millas de Birmingham, y desde esa fecha hasta 1800, los socios trabajaron activamente y conquistaron el más hermoso de los éxitos. BOULTON se ocupaba de la parte práctica, comercial e industrial, mientras que Watt, en busca de perfeccionamientos, pedía año tras año nuevas patentes de invento.

Entre los tan conocidos inventos de Watt, nos limitaremos a citar: el condensador aislado, con la bomba de aire (1765); la máquina rotativa (2); la máquina de simple

(1) MATEO BOULTON (Birmingham 1728-Soho 1809) había heredado de su padre una importante manufactura metalúrgica y realizó interesantes perfeccionamientos de la máquina de SAVERY.

(2) La máquina rotativa, o sea la máquina adaptada directamente al eje sin ningún dispositivo de trasmisión, no fué realizada por WATT sino simplemente ideada y enunciada en su principio en su primera patente. Fué el célebre mecánico PECQUEUR quien construyó la primera máquina rotativa de aplicación industrial.

PECQUEUR era hijo de simples labradores y había llegado a París para trabajar en un taller de relojería. Allí inventó un péndulo regulador y una máquina calculadora. En 1824 fué nombrado jefe de taller del Conservatorio de Artes y Oficios. Se le debe un dinamómetro de gran precisión y sencillez, máquinas nuevas para la refinería del azúcar, un coche de vapor, un ferrocarril atmosférico, el mecanismo diferencial tal como se usa ahora en los automóviles, etc. Pecqueur, que había nacido en 1792, murió en París en 1852.

efecto (1774); la de doble efecto (1782); el martillo de vapor (1784); el paralelogramo articulado (1784); una locomotora (1784); el regulador de fuerza centrífuga (1784); el manómetro de mercurio (1785); el indicador, o tubo de nivel (1785).

En el primer año del siglo XIX, BOULTON y Watt, viejos y cansados ya por su largo esfuerzo, abandonaron a sus hijos, la continuación de su obra y, en 1819, el gran inventor, que tenía ya ochenta y tres años, dejó de existir en su tranquilo retiro de Heathfield, cerca de Soho, después de haber visto morir a todos sus viejos amigos, testigos del nacimiento de su obra valiosa.

Watt ha dejado muy pocas publicaciones, pero ha hecho un amplio relato de sus trabajos en su correspondencia con diversos sabios e industriales y esa correspondencia recogida y publicada por MUIRHEAD en 1854, es una interesantísima historia no sólo de la obra de Watt sino de todos los grandes progresos de la industria en la segunda mitad del siglo XVIII, aurora de la era del vapor.

GALVANI
(1737-1798)

Su célebre experimento. Ei galvanismo. El voltaísmo. La teoría de Fabbroni. La electricidad animal.

LUIS ALOISIO GALVANI (1) nació en Bolonia en 1737 y murió en su ciudad natal en 1798.

Estudió en la antigua Universidad de Bolonia en la que recibió el título de doctor en medicina y en la que fué nombrado profesor de anatomía y ginecología, en 1762; pero, en 1797 perdió su puesto por haber rehusado de prestar ju-

(1) Elogio de VOLTA en "Notices Biographiques" de ARAGO. La pila de VOLTA en "Merveilles de la Science" de FIGUIER. Elogio de FARADAY en "Eloges Académiques", DUMAS.

ramento al gobierno de la República Cisalpina formada por Napoleón, y no volvió a ocuparlo a pesar del ofrecimiento del gobierno de devolvérselo incondicionalmente.

Según una anécdota muy conocida, el descubrimiento que ha hecho célebre el nombre de Galvani no habría sido el resultado de largos estudios, sino de la simple casualidad. Una tarde de 1780 (1), Galvani había dejado en la mesa de su laboratorio ranas que había desollado para preparar un caldo que los médicos recetaban a su mujer, enferma de los pulmones. Un discípulo de Galvani habría tocado inadvertidamente los nervios crurales de una de las ranas, con la punta de un escalpelo mientras otro sacaba chispas en una máquina eléctrica. Galvani, — siempre según la anécdota, — no estaba en el laboratorio, y fué su mujer quien observó que la rana se agitaba con movimientos convulsivos cada vez que salía una chispa de la máquina. La señora de Galvani comunicó su observación a su esposo quien repitió el experimento y creyó ver en él, una confirmación de una hipótesis que tiempo atrás trataba de confirmar: la de la electricidad animal.

Hasta aquí la anécdota, tantas veces repetida con toda buena fe por autores de gran mérito (2), que ha llegado a imponerse como verdad histórica. Sin embargo, los hechos prueban que el descubrimiento de Galvani no puede haber sido tan casual como lo hace parecer esta fábula. En la Academia de Bolonia se encuentran varias memorias de Galvani sobre los movimientos musculares de las ranas y otras cuestiones similares, desde 1772 o sea ocho años antes del descubrimiento precitado; es lógico suponer pues que las ranas que el célebre anatomista había preparado no estaban destinadas a la olla sino que debían desempeñar fines más trascendentales. Pero POGGENDORFF (3), quien cree sin embargo en la anécdota, nos dice que en Bolonia mis-

(1) ARAGO dice 1790; DUMAS, 1789; CHWOLSON (t.IX, pág. 226), 1789; POGGENDORF (pág. 547) indica las fechas de 1780 y 1790, sin decidir. Adoptamos aquí la fecha dada por FIGUIER: 1780.

(2) FIGUIER dice haber leído 21 versiones distintas de esta anécdota ("Merveilles de la Science", tomo I, pág. 602).

(3) POGGENDORFF, pág. 547.

mo, en la misma Academia, pocos años antes, en 1756, CALDANI (1) ya había leído una memoria en que hablaba de sus observaciones de convulsiones provocadas en una rana, por la electricidad.

Todo esto deja muy poco lugar a la simple casualidad y, convencidos así del poco valor de la versión más conocida (2) del descubrimiento de Galvani, preferimos limitarnos estrictamente a la exposición hecha por su mismo autor, en sus "Comentarios sobre la fuerza eléctrica en los movimientos musculares" (1791):

> " Yo disecaba una rana y la preparaba como lo
> " indica la figura Nº 2 de esta memoria. Después, pro-
> " poniéndome hacer otra cosa, la coloqué sobre una me-
> " sa en la que se encontraba una máquina eléctrica. La
> " rana no estaba de ningún modo en contacto con el
> " conductor de la máquina; estaba hasta alejada a una
> " distancia bastante grande. Uno de mis ayudantes acer-
> " có por casualidad la punta de un escalpelo a los ner-
> " vios crurales internos de esa rana, la tocó ligeramente
> " y en seguida todos los músculos de los miembros in-
> " feriores se contrajeron como si hubieran experimen-
> " tado de repente convulsiones tetánicas violentas. Sin
> " embargo, una persona presente a las experiencias, cre-
> " yó observar que el fenómeno se producía sólo cuando
> " se sacaba una chispa del conductor de la máquina eléc-
> " trica. Maravillada por el hecho nuevo me lo comunicó
> " enseguida. Estaba entonces ocupado en otra cosa, pe-
> " ro para investigaciones de ese orden mi celo no tiene
> " límites y quise inmediatamente repetir el experimen-
> " to por mi mismo, y explicármelo. Acerqué la punta
> " de mi escalpelo ya a uno, ya a otro de los nervios

(1) LEOPOLDO CALDANI (Bolonia 1725-1813), médico y anatomista, profesor en Bolonia. No debe ser confundido con FLORIANO CALDANI (Bolonia 1772-Padua 1836) que se ocupó del galvanismo en los "Anales" de Brugnatelli.

(2) POGGENDORFF cree encontrar una prueba de la exactitud de la anécdota en un soneto que dice: "Fué ella y no tú, que encontró en la rana desollada, al nuevo principio de la vida"; pero no vemos por qué debe darse valor a este documento poético.

" crurales, mientras que una de las personas presentes " sacaba chispas de la máquina. El fenómeno se produ- " jo exactamente de la misma manera..."

Este no fué, sin embargo, el experimento definitivo para el establecimiento del galvanismo. Siguió Galvani sus investigaciones, realizó numerosos experimentos y, en 1786, quiso observar si la electricidad atmósferica producía los mismos efectos en la rana, que la electricidad de la máquina. Colgó una rana de un balcón de hierro de su casa por medio de un hilo de cobre que pasaba por la médula espinal; observó contracciones a cada relámpago; pero observó también que cuando el viento movía la rana y sus patas tocaban el balcón de hierro, las convulsiones se repetían. Esta segunda "casualidad", que haría creer en una providencia que favorecía al sabio médico, le hizo entrever inmediatamente una explicación racional de la "electricidad animal". La rana estaba agitada de convulsiones cuando un arco formado por dos metales (el hierro del balcón y el cobre del hilo) reunía su médula espinal con los músculos externos de sus ancas. La causa de estas convulsiones era evidentemente el flúido eléctrico, pues ya se habían observado en los experimentos anteriores tocando sólo con un metal los nervios crurales, mientras se producían descargas eléctricas o cuando estallaban rayos. Pero, como en el experimento del balcón la electricidad ya no provenía del exterior, Galvani creyó encontrar la verdadera causa en la electricidad propia al animal, en el flúido nervioso tal vez, y consideró el cuerpo de la rana como un condensador, una verdadera botella de Leyden, que se descarga cuando se une su armadura interna (la médula espinal) con la armadura externa (los músculos de las ancas).

Galvani podría, sin duda, haber atribuído esta electricidad a los metales del arco, especialmente, si hubiera recordado que, en 1767, SULZER (1) había observado que

(1) JUAN SULZER (Winterthur, Suiza, 1720-Berlín 1779), filósofo, profesor de matemáticas de Joachimstahl y miembro de la Academia de Berlín. Su nombre se recuerda en física por ciertas apreciaciones de acústica y neumática, apreciaciones poco exactas además. Fué pro-

si se coloca en la boca una lámina de zinc y otra de plata se siente una picazón en la lengua y los ojos perciben una especie de fulgor; pero Galvani era fisiólogo y es natural que haya buscado una hipótesis fisiológica como es natural que los fisiólogos todos hayan adoptado su teoría del "Galvanismo", mientras los físicos formaban el bando opuesto defendiendo la "teoría del contacto" emitida por VOLTA. La discusión entre voltaístas y galvanistas que estudiamos detalladamente más adelante (1), fué provechosa pues provocó interesantes estudios y descubrimientos. Pero Galvani encontró otro núcleo de enemigos de su teoría fisiológica en los químicos.

En 1792, un químico florentino, JUAN FABBRONI (2), leyó en la "Sociedad de los Georgófili" de Florencia, una memoria en que se encontraba una explicación química de los fenómenos descubiertos por Galvani y así mismo la base de la teoría química de la pila que diez años más tarde, después del inmortal invento de VOLTA, se impuso con los trabajos de NICHOLSON, CARLISLE, CRUIKSHANK, DAVY, WOLLASTON, etc. La memoria de FABBRONI fué publicada en 1799 por su autor en el "Journal de Physique" de París, bajo el título de "Acerca de la acción química de diversos metales entre sí, a la temperatura común de la atmósfera y acerca de la explicación de algunos fenómenos galvánicos". Este químico había observado que los metales puros son menos oxidables que las aleaciones o metales en contacto, y citaba como ejemplo, que se podía comprobar en los museos de antigüedades que los objetos constituídos por un sólo metal química-

---

bablemente el primero, después de las restricciones de D'AMONTONS, en dudar de la exactitud de la ley de BOYLE-MARIOTTE, en 1753, o sea unos seis años antes que LAGRANGE y que MUSSCHENBROEK. Creía que el aire es menos compresible de lo que expresa la ley, lo que es inexacto.

(1) Véase la biografía de VOLTA.

(2) JUAN FABBRONI (Florencia 1752-1822), químico naturalista y economista italiano, era Director del Gabinete de Física del Gran Duque de Toscana y fué nombrado director de Puentes y Calzadas cuando Napoleón agregó Toscana al Imperio. Fabbroni se ocupó de botánica, física, química, matemáticas, medicina, fisiología, economía política, historia, filología, literatura y dejó numerosas e importantes obras.

mente puro se habían conservado durante largos siglos sin oxidarse mientras que otros constituídos por aleaciones o metales distintos en contacto estaban oxidados y en mal estado de conservación. De allí dedujo que el contacto de materias heterogéneas aumenta su afinidad química y disminuye su cohesión, y explicó que en el experimento de Galvani las extremidades del arco formado por dos metales son fácilmente oxidadas por los líquidos animales y que esta acción química es la causa de los efectos eléctricos observados.

Nos encontramos, pues, frente a Galvani el fisiólogo, a VOLTA el físico y a FABBRONI el químico, cada uno con una teoría relacionada con la materia de su especialidad. La teoría de FABBRONI pasó inadvertida; la teoría de VOLTA pareció vencer a la de Galvani; pero más tarde los químicos impusieron la teoría química que fué universalmente admitida en el siglo XIX. Más de un siglo ha pasado desde aquella discusión y "el problema continúa en pie. Hay que recordar que todos los experimentos que manifiestan la existencia de cargas en los metales en contacto, no demuestran nada por sí mismos, porque no se trata de probar la existencia de las cargas, de lo cual no se ha dudado nunca, sino de buscar cuál sea su origen" (1).

Las tres teorías se mantienen en la ciencia, pues se reconocen en las reacciones químicas, en el contacto y en los órganos animales y hasta vegetales, (2) algunas de las distintas fuentes de electricidad.

El estudio de la electricidad animal pertenece a la fisiología y no a la física; pero recordaremos aquí algunas etapas de su descubrimiento: Los antiguos ya sabían que la raya torpedo, pez de los mares del sur de Europa, tiene la extraña propiedad de causar un choque violento en la persona que lo toca; pero no podían naturalmente atribuir este fenómeno a la electricidad, que sólo conocían en el ámbar. En 1714, REAUMUR hizo una interesante descripción del torpedo y del órgano que causa su extraña propiedad;

(1) CHWOLSON. Tomo IX, pág. 235.
(2) CHWOLSON. Tomo IX, pág. 263.

pero no eran todavía suficientes sus nociones de electricidad para atribuirle el fenómeno que consideró como puramente mecánico. El doctor BANCROFT (1) fué el primero en sospechar el origen del poder de la raya torpedo; WALSH, en 1772, confirmó su afirmación en célebres experimentos con los cuales descubrió el "órgano eléctrico", y sus estudios fueron continuados por HUNTER (1773), SANTI LINARI (1837) y SCHOENBEIN (1841).

G. HERSCHEL
(1738-1822)

Su telescopio. Radiación calorífica. Rayos luminosos del espectro.

GUILLERMO HERSCHEL nació en Hannover en 1738 y murió en Inglaterra en 1822.

Era hijo de un músico, artista de valer, que tuvo diez hijos, todos músicos como él mismo. Guillermo, el tercero de ellos, debió buscar en su arte un medio de vida. Entró en la banda de la guardia del rey de Hannover, Jorge II, que lo era también de Inglaterra y esto lo indujo a tentar fortuna en la segunda patria de su monarca. En 1759, se fué a Inglaterra con su hermano mayor Jacobo; pasó varios años de miseria apenas aliviada por el producto de algunas lecciones o conciertos; fué maestro de música de un regimiento, organista en Halifax (1765) y en Bath (1766). Durante sus horas de libertad, Herschel completó su educación por el estudio de los idiomas y de las ciencias. Hacia 1774, tuvo ocasión de manipular un telescopio y el elevado precio de este

---

(1) RICARDO BANCROFT, médico y naturalista inglés del siglo XVIII, miembro de la Sociedad Real, amigo de FRANKLIN y PRIESTLEY; realizó estudios de botánica y zoología en el curso de sus viajes a América del Sur. No debe ser confundido con otro sabio del mismo apellido que, a fines del siglo XIX, se ocupó de electroquímica.

aparato lo decidió a construirse uno él mismo y hacer observaciones: allí empieza la carrera científica de Herschel.

Construyó telescopios de distancia focal cada vez mayor y cada vez más perfeccionados, los dirigió hacia el cielo y, en 1781, descubrió un mundo nuevo, el planeta Urano que llamó "Georgium Sidus" en recuerdo del rey Jorge, pero que durante muchos años llevó el nombre de su descubridor.

Este descubrimiento transformó al pobre músico alemán en uno de los más grandes astrónomos de su tiempo, admirado por sus colegas, recompensado por las academias, pensionado por el rey Jorge III.

Ya hemos hablado del perfeccionamiento principal que Herschel aportó a la construcción del telescopio, al hablar de su primer inventor GREGORY, y hemos visto que consiste en la supresión de la reflexión doble de los rayos por medio de la inclinación del espejo cóncavo para permitir la observación directa por un costado del aparato. Uno de los aparatos que empleaba Herschel pesaba más de mil kilos, su distancia focal era de doce metros, el diámetro de su espejo 1,47 metro y su aumento de casi seis mil veces.

Herschel prosiguió sus investigaciones astronómicas, sobre todo después que los astrónomos-matemáticos aseguraron que el astro descubierto por él, no era un cometa como lo había creído sino un planeta más lejano aún que Saturno, astro que había marcado hasta entonces el límite de nuestro sistema planetario. Herschel descubrió que "su planeta" tiene satélites; estudió los anillos de Saturno y descubrió dos de sus satélites (1787); observó estrellas, las cuales son planetas de otras, que son verdaderos soles; estudió las nebulosas y la vía láctea dando un aspecto nuevo a estas importantes cuestiones; estudió la forma de Júpiter y sus bandas... Pero todo esto pertenece exclusivamente a la historia de la astronomía y debemos limitarnos a decir que Herschel debe ser considerado como uno de los grandes fundadores de la astronomía física moderna.

En física, sus trabajos más importantes pertenecen a la óptica, y su principal descubrimiento es indiscutiblemen-

te el de los rayos caloríficos del espectro, descubrimiento que realizó en 1800 con su observación de que la temperatura aumenta del violado al rojo y que es mayor aún fuera del espectro, cerca de los límites del rojo obscuro.

Hemos visto ya que LAMBERT (véase) se había ocupado de radiación calorífica al aplicarle las leyes de iluminación establecidas por él mismo (1777). Tres años más tarde, en 1780, SCHEELE (1) había demostrado que los rayos caloríficos se reflejan como los rayos luminosos y había observado que el nitrato de plata se obscurece más en el violado del espectro que en sus otros colores; pero no notó que, fuera del violado, existe una zona de rayos invisibles que tienen mayor acción química aún, descubrimiento que fué hecho por RITTER en 1801 y por WOLLASTON en 1802. En 1783, ROCHON demostró que existen siempre rayos caloríficos con los luminosos, pero creyó encontrar el máximo en la zona límite entre el rojo y el amarillo del espectro. Herschel, por otra parte, ignoró ese poco conocido trabajo de ROCHON, y es considerado con todo derecho como el gran iniciador del estudio de las radiaciones invisibles del espectro.

LESLIE (1802) negó la existencia de los rayos invisibles descubiertos por Herschel, pero éste y ENGLEFIELD levantaron sus objeciones; DE SAUSSURE y PICTET (1803) estudiaron la reflexión de los rayos invisibles; BERARD (1814) hizo el análisis detallado de la disposición de los rayos caloríficos en espectros producidos por prismas de distintas substancias, observando diferencias debi-

(1) CARLOS SCHEELE (Stralsund, Suecia, 1742-Koeping, 1786), célebre químico sueco, que los alemanes reclaman en vano como suyo. Su vida es una de las más hermosas vidas de sabio, pues prefirió una semi pobreza como regente de una farmacia de la aldea de Koeping, a las honrosas ofertas de universidades y monarcas. Sus obras poco numerosas rebosan de trabajo personal. Amplió el estudio de la química neumática que sus contemporáneos BLACK, LAVOISIER y PRIESTLEY, habían establecido. Descubrió el cloro, el manganeso, el barito, el tungsteno, el molibdeno, el ácido arsénico, el ácido prúsico, la glicerina, el ácido úrico, etc. En física, fué uno de los primeros en creer que el calor podía propagarse sin necesidad del aire.

Scheele cometió, como PRIESTLEY, el error de defender la teoría del flogisto.

das a dicha causa, y descubrió la polarización de los rayos caloríficos por medio del aparato de MALUS.

En 1815, SEEBECK amplió las observaciones de BERARD. Con RUMFORD, DE LA ROCHE, DULONG Y PETIT, MELLONI, TYNDALL, etc... seguiremos los progresos de este importante capítulo de física cuyo estudio fué iniciado por Herschel.

En 1822, Herschel estudió los espectros de gases incandescentes; observó sus rayas brillantes dispuestas como las rayas negras del espectro solar descubiertas anteriormente por FRAUNHOFER (1815), y, como notara que estas rayas tenían una posición particular para cada gas, previó que se podría llegar a analizar las substancias con su espectro. Herschel fué así precursor del invento del análisis espectral, realizado por KIRCHHOFF y BUNSEN (1859).

Herschel se ocupó también de los anillos coloreados de NEWTON, pero no agregó nada original al estudio de esta cuestión.

Cuando Guillermo Herschel murió (1822), lleno de gloria, era presidente de la Sociedad Astronómica de Londres, doctor "honoris causa" de la Universidad de Oxford, miembro de la Sociedad Real, de la Academia de Ciencias de París y de todas las principales sociedades científicas de Europa. Dejaba un hijo, JUAN HERSCHEL, quien pareció haber esperado la muerte de su padre para prolongar su brillante carrera científica y mantener así la gloria de su nombre. (véase JUAN HERSCHEL).

MONTGOLFIER
JOSE (1740-1810)
JACOBO (1745-1799)

La aerostación.

Las biografías de los hermanos JOSE MIGUEL y JACOBO ESTEBAN MONTGOLFIER son tan inseparables como lo han sido su obra y su gloria.

Los dos hermanos nacieron en Vidalón, cerca de Annonay: José en 1740 y Jacobo en 1745. El mayor frecuentó el colegio de Tournon, fué un pésimo alumno y después de algunos años, se escapó de su hogar tratando de ganarse la vida con sus propios recursos en Saint Etienne, fabricando y vendiendo azul de Prusia, luego en París donde fué con el único fin de conocer a los sabios y donde su padre volvió a encontrarlo y le ofreció la administración de su fábrica de papel. José fué sin duda un mal administrador, más interesado en inventos o perfeccionamientos a veces ilusorios y siempre costosos, que en los intereses de la empresa; tanto fué así que se separó de su padre cuando éste se opuso a sus proyectos, y se asoció con un hermano para establecer dos fábricas de papel, una en Voiron y otra en Beaujeu, donde dió libre curso a su imaginación y logró aportar ciertos perfeccionamientos de interés para aquella industria.

El defecto de José Miguel Montgolfier era indudablemente su exceso de imaginación y su falta de método; necesitaba encontrar un freno en algún espíritu fecundo como el suyo, pero más pausado y mejor equilibrado. Encontró esas cualidades en su hermano Jacobo Esteban.

Jacobo Esteban Montgolfier fué un excelente alumno del Colegio de Santa Bárbara de París y de la Escuela de Arquitectura; fué discípulo de SOUFFLOT, y muchos edificios de la capital de Francia son pruebas de su valor como arquitecto. Reemplazó a Jacobo en la administración de la fábrica de su padre y lo hizo con prudencia e inteligencia, sin dejar, sin embargo, de realizar las ideas que le sugería su espíritu inventivo. Logró perfeccionar la maquinaria, descubrió muchos procedimientos mantenidos en secreto por países extranjeros y realizó así una obra científica y patriótica a la vez, que lo coloca entre los renovadores de la industria francesa.

Estos dos hermanos que se completaban el uno al otro, no invocaron nunca separadamente sus méritos y la historia de la ciencia debe respetar esta armonía, dejándolos unidos en la historia del gran invento que perpetúa sus nombres.

No se conoce el origen exacto del invento del globo. Según distintas anécdotas, los hermanos Montgolfier habrían sido inducidos a aprovechar la fuerza ascensional de los gases dilatados, por la observación de las nubes que desde el valle se elevan hacia las altas montañas que circundan su aldea nativa. Según otras versiones el simple hecho de ver una camisa recién lavada que, secándose delante del fuego, se inflaba con el aire caliente y tendía a elevarse, hubiera sido la verdadera causa del invento; otras en fin, relatan que llegaron a su invento, buscando un medio de entrar en Gibraltar, sitiada por tierra y mar por Carlos III de España, aliado de Francia y enemigo de Inglaterra, que defendía su posesión (1782). Poco importa saber si alguna de estas anecdóticas casualidades ha sido o no el origen del invento de los globos, pues desde el punto de vista científico, su verdadera causa se encuentra más razonablemente en los grandes progresos que acababa de realizar la química neumática en aquella época y en ese preciso año, con la publicación de la obra de PRIESTLEY sobre "Distintas especies de aires". Esta explicación, basada además en afirmaciones de los mismos hermanos Montgolfier, es mucho más satisfactoria que las más pintorescas anécdotas, pues nos muestra que la solución del problema de la conquista del aire no fué inspirada por casualidades o deseos bélicos, sino que fué engendrada por otra conquista científica.

Los hermanos Montgolfier realizaron numerosos experimentos; probaron envolturas de papel como recipiente del gas; quisieron emplear el hidrógeno que encontraron demasiado flúido para poder contenerse en papel, y muchos otros "aires" fueron probados hasta que llegaron al resultado esperado por un razonamiento tan falso como curioso: atribuían la ascensión de las nubes a un fenómeno eléctrico (¡La electricidad estaba de moda!) y creyeron que la mezcla de vapores alcalinos con vapores neutros gozaría de las propiedades eléctricas necesarias. Alcanzaron su propósito con el humo resultante de la combustión de una mezcla de paja húmeda y de lana, y decidieron hacer conocer su invento.

En junio de 1783, en la plaza de Annonay donde habían acudido todos los habitantes de la pequeña ciudad, un globo de arpillera forrado de papel, de doce metros de diámetro, se elevó a unos 500 metros de altura y volvió a descender lentamente a tierra. La sensacional noticia se propagó rápidamente en todo el país: la Academia de Ciencias nombró una comisión de ocho de sus miembros, en la que figuraban LAVOISIER y CONDORCET, para averiguar la veracidad de los hechos.

Jacobo Esteban Montgolfier fué invitado por la Academia a repetir la experiencia en París; pero cuando el inventor llegó a la capital, el profesor CHARLES (1) se preparaba a hacer ascender un globo de tela engomada, inflado con hidrógeno. Esta ascensión se realizó el 27 de agosto de 1783, en medio de una plaza de París, delante de un público de más de trescientas mil personas o sea la mitad de su población en aquella época.

Fué en medio de gritos, aplausos y lágrimas de desbordante entusiasmo, que el globo de hidrógeno de CHARLES se elevó a más de mil metros de altura; pero allí estalló, pues, contrariamente a las órdenes impartidas por CHARLES, los constructores, los hermanos ROBERT, habían inflado completamente el globo que se desgarró a causa de la gran disminución de la presión externa. Los restos del aeróstato cayeron a unas cinco leguas de París y los campesinos, pasado el primer momento de espanto, y domi-

(1) JACOBO CHARLES (Beaugency 1746-París 1823), fué atraído al estudio de la Física por los descubrimientos de FRANKLIN y se hizo célebre por trabajos originales tanto como por sus conferencias didácticas y atractivas. Sus experimentos de aeronáutica lo hicieron tan famoso que durante la Revolución su laboratorio fué respetado por los revolucionarios a pesar de encontrarse en el Palacio de las Tullerías. MARAT, que también se había ocupado de física, había tenido con Charles una discusión científica que terminó en pugilato; pero el sanguinario revolucionario supo olvidar este incidente cuando su poder le hubiera facilitado la venganza. Charles hizo importantes experimentos de electricidad y de dilatación de los gases; perfeccionó el aerómetro de FAHRENHEIT y lo llamó "hidrómetro termométrico"; construyó el primer goniómetro de reflexión; y es considerado como uno de los precursores de la fotografía, por reproducir, en sus conferencias públicas, siluetas por medio de un megascopio de su invento, en cuya pantalla colocaba una hoja de papel con una capa de cloruro de plata.

nados por ridículas supersticiones, lo destruyeron completamente.

En setiembre, Jacobo Esteban construyó dos globos; uno fué destruído por una tormenta y el otro cumplió su cometido delante de Luis XVI y de su Corte de Versailles, llevando como pasajeros... un gallo, un pato y una oveja, que volvieron sanos y salvos de su extraordinario viaje.

En octubre de 1783, PILATRE DE ROZIER (1) se elevó en un globo cautivo y en el mes de noviembre, realizó un viaje aéreo acompañado por el marqués de Arlandes, en un globo de aire, sin válvula ni lastre, en que se regulaba la fuerza ascensional echando más o menos paja en la rejilla del fuego.

Según una anécdota, una persona preguntó a FRANKLIN, que asistía al maravilloso espectáculo del primer viaje aéreo, cuál sería la utilidad de los globos, y el sabio le contestó "¿Y para que sirve el niño que acaba de nacer?".

En diciembre, CHARLES y ROBERT, realizaron una ascensión en un globo de hidrógeno con lastre y válvula, y esta nueva prueba convenció a los últimos escépticos del valor del invento de los hermanos Montgolfier.

La Academia de Ciencias hizo acuñar una medalla en recuerdo del hermoso acontecimiento y en ella hicieron grabar los nombres de Montgolfier y de CHARLES. Los hermanos Montgolfier fueron nombrados miembros supernumerarios de la Academia; Luis XVI otorgó a Esteban el gran cordón de la orden de San Miguel, a José una pensión de mil libras y a su padre, una carta de nobleza.

Jacobo Esteban, el menor, murió primero, en 1799; José murió en 1810, miembro del Instituto, oficial de la Legión de Honor y administrador del Conservatorio de Artes y Oficios.

---

(1) JUAN FRANCISCO PILATRE DE ROZIER (Metz 1756-Bologne 1785), era ayudante de farmacia cuando empezó a hacer experimentos con los pararrayos primero, con los montgolfiers después. Fué profesor de química del Ateneo Real y jefe del gabinete de física del delfín que debía subir al trono de Francia con el nombre de Luis XVIII. Murió a los 29 años, víctima de su coraje.

No podemos detallar aquí la interesante historia de la aerostación (1) que por sí sola llenaría muchas páginas, si no volúmenes, y nos limitaremos a dar algunas indicaciones cronológicas de sus principales progresos:

1782—Invento del globo por los hermanos MONTGOLFIER.

1783—Junio 4. Primer experimento público en Annonay. —

—Agosto 27. Globo de hidrógeno de CHARLES y ROBERT.

—Setiembre 11. El globo de fuego de JACOBO E. MONTGOLFIER es destruído por una tormenta en París.

—Setiembre 19. JACOBO MONTGOLFIER hace subir un globo de fuego con animales como pasajeros.

—Noviembre 21. PILATRE DE ROZIER y el marqués de ARLANDES (1742-1809) realizan el primer viaje aéreo.

En la misma fecha, el profesor MINKELERS (1748-1824) de la Universidad de Lovaina, lanza un globo de gas de alumbrado.

—Diciembre 1º CHARLES y ROBERT hacen el primer viaje en un globo de hidrógeno con válvula y lastre.

En este mismo mes LENORMANT (2) en Montpellier se tira de la torre del observatorio en un paracaídas.

1784—Enero 5. JOSE MONTGOLFIER hace en Lyon una ascensión con cinco pasajeros: PILATRE DE ROZIER, el príncipe de LIGNE y los condes de LAURENCIN, DAMPIERRE y de LAPORTE D'ANGLEFORT.

—Febrero 25. El caballero ANDREANI y los herma-

(1) Véase: FIGUIER "Merveilles de la science", T. II, p. 423-626. FARMAN "Merveilles aériennes" (Fritsch, editor, 1896).

(2) LUIS S. LENORMANT (Montpellier 1757-1839), químico é inventor.

nos GERLI realizan un viaje en Milán, con un aparato perfeccionado.

—Marzo 2. BLANCHARD (1) hace una ascensión con un globo provisto de las alas de una "máquina voladora" de su invento, que no había dado resultados.

—Junio 12. GUYTON DE MORVEAU (2) y DE VIRLY prueban en Dijón, un globo que pretenden dirigir por medio de remos.

—Julio 15. El duque de CHARTRES hace una peligrosa ascensión en Saint-Cloud con los hermanos ROBERT.

En este mismo día el general MEUSNIER (3) ensayaba, sin éxito, un globo compensador en que el globo de hidrógeno era rodeado por otra envoltura en que se introducía aire con un fuelle para disminuir la fuerza ascensional.

—Setiembre 14. El italiano LUNARDI inaugura en Inglaterra los viajes aéreos.

1785—Enero 5. BLANCHARD, acompañado por el doctor JEFFERIES, cruza la Mancha de Dover a Calais.

---

(1) BLANCHARD (Andelys 1753-1809), construyó en 1780, una "máquina voladora" más pesada que el aire, que pertenece a la historia de la aviación. Los éxitos de los hermanos MONTGOLFIER, le hicieron adoptar el globo pero siempre le agregaba su máquina voladora, y fué esta disposición que inspiró a SEBASTIAN LENORMANT la idea del paracaída.

(2) LUIS BERNARDO GUYTON DE MORVEAU (Dijón 1737-París 1816), célebre químico. fué abogado y magistrado, químico y naturalista. Fué el ideador de la nueva nomenclatura química que perfeccionó con LAVOISIER, FOURCROY y BERTHOLLET. Durante la Revolución ocupó altos cargos políticos. Fué miembro de la Sociedad Real de Londres, del Instituto desde su fundación, de la Academia de Dijón, profesor y luego director de la Escuela Politécnica. Fué uno de los fundadores de la aerostación militar; defendió el uso de los pararrayos en Francia; inventó un pirómetro. Guyton de Morveau sería más célebre si la gloria de su gran contemporáneo LAVOISIER, no eclipsara la suya.

(3) JUAN MEUSNIER (París 1754-Cassel 1793), fué matemático, mecánico y físico. Era miembro de la Academia de Ciencias a la que presentó en 1784, un proyecto de lámpara que inspiró a ARGAND la idea de su lámpara, injustamente llamada QUINQUET. El general Meusnier murió gloriosamente en la batalla de Cassel.

—Junio 15. PILATRE DE ROZIER y ROMANI tratan de atravesar la Mancha con un aparato nuevo llamado "aero-Montgolfier" formado por un globo de hidrógeno sobrepuesto a un globo de fuego. Un desgarramiento del globo de hidrógeno provocó la caída del aparato y la muerte de los dos aeronautas. PILATRE DE ROZIER y ROMANI fueron las dos primeras víctimas de la aerostación.

Desde esta fecha, no seguiremos citando las proezas cada vez más atrevidas de los aeronautas y sólo citaremos hechos importantes desde el punto de vista de la evolución de la aerostación:

1793—Los globos cautivos fueron empleados por primera vez con fines militares, en el sitio de Condé.

1803—El físico ROBERTSON (1) realiza la primera ascensión de observación científica, con su compatriota LHOEST y se eleva a siete mil cuatrocientos metros.

1804—GAY-LUSSAC y BIOT hacen interesantes observaciones a 7.000 metros de altura.

1847—El doctor VAN HECKE de Bruselas quiere regular la fuerza ascensional con hélices horizontales.

1850—BARRAL (2) y BIXIO hacen observaciones de magnetismo y electricidad a 6.000 y 7.000 mil metros de altura.

---

(1) ESTEBAN ROBERTSON (Lieja 1763-París 1837), físico belga, estudió en la Universidad de Lovaina. Fué a París para proponer al gobierno francés, unos espejos ardientes de ARQUIMEDES que permitirían incendiar la flota inglesa. A parte la exageración, los espejos de Robertson fueron aprobados por una comisión de la Academia en que figuraban MONGE y GUYTON DE MORVEAU. Instaló un hermoso laboratorio en París y dió conferencias. Fué el primero en reproducir y hacer conocer en Francia los experimentos de GALVANI y VOLTA, y cuando este sabio vino a París, Robertson lo presentó a los sabios. VOLTA, agradecido, recordó en sus conferencias en la Academia de Ciencias los experimentos realizados por Robertson y, en presencia de Bonaparte, le rogó repetir algunos de ellos. Robertson es, sin embargo, más célebre por sus proezas como aeronauta que por sus trabajos físicos.

(2) JUAN BARRAL (Metz 1819-Fontenay 1884), químico, médico, político y agrónomo francés. Otros de sus títulos es de haber sido elegido por ARAGO para publicar sus obras después de la muerte de este sabio.

1852—GIFFARD (1) construye un dirigible alargado, con máquina de vapor y hélice y hace varias evoluciones con pleno éxito siempre que no tuviera que luchar contra el viento. Es el primer dirigible análogo a los modernos.

1862—GLAISHER (2) se eleva a 11.000 metros pero a los 8.500 perdió el conocimiento e interrumpió toda observación.

1870—Los globos permiten a los parisienses sitiados, mandar correspondencia fuera de la ciudad.

1875—TISSANDIER (3), SILVEL y CROCE se elevan a 8.600 metros y los dos últimos mueren asfixiados.

1883—TISSANDIER se eleva en un dirigible parecido al de GIFFARD pero con motor eléctrico.

1884—El capitán RENARD (4) construye el dirigible "La France" parecido al de TISSANDIER y con el sistema compensador de MEUSNIER, y realiza largos vuelos volviendo siempre al punto de partida.

1894—ASSMANN de Berlín hace subir un globo sin pasajeros hasta 18.500 metros y los aparatos registran 60º C. bajo 0.

(1) ENRIQUE GIFFARD (París 1825-1882), ingeniero francés, inventó el célebre inyector que lleva su nombre y significó un gran perfeccionamiento para la máquina de vapor. Este invento le fué sugerido por sus experimentos de la dirigibilidad de los globos.

(2) JAIME GLAISHER (Londres 1809-1903), astrónomo inglés, director del observatorio de Greenwich desde 1874, fué miembro de la Sociedad Real de Londres (1849) y fundador de la Sociedad Real de Meteorología. Se recuerdan 29 ascensiones de Glaisher, todas con fines científicos.

(3) GASTON TISSANDIER (París 1843-1898), vulgarizador de ciencias por conferencias, obras atractivas y la revista "La Nature" que fundó. Fué químico y aeronauta, se recuerdan sus observaciones en 44 ascensiones.

(4) CARLOS RENARD. Ingeniero militar francés (Damblin 1847-Chalais Meudón 1905), hizo hacer grandes progresos a la aeronáutica militar.

1896—ZEPPELIN (1) construye el primer dirigible rígido con armazón de aluminio.

1898—SANTOS DUMONT (2) parece ser el primero en obtener resultados verdaderamente prácticos con dirigibles.

Después de estas fechas se fueron perfeccionando cada vez más los dirigibles a pesar de que la atención de los sabios se dirigió más bien hacia la aviación.

En estos momentos los dirigibles tratan de disputar a los aeroplanos el dominio del aire con fines comerciales.

LAVOISIER
(1743-1794)

Su obra química. Teoría del calor. Dilatación lineal. Calorimetría. Electrización por vaporización.

ANTONIO LORENZO LAVOISIER, el fundador de la química moderna, nació en París en 1743 y murió guillotinado en 1794.

Hijo de un rico comerciante parisiense que había sido procurador del Parlamento, recibió una buena educación iniciada con éxito en el Colegio Mazarino y completada por

---

(1) EL CONDE FERNANDO DE ZEPPELIN (Constanza 1838-Charlottenburgo 1917). Hizo una brillante carrera militar en Alemania.

(2) ALBERTO SANTOS DUMONT. Célebre aviador y aeronauta brasileño, nació en 1873.

las lecciones del astrónomo LA CAILLE (1), del químico ROUELLE (2), del botánico BERNARDO DE JUSSIEU y del geólogo GUETTARD (3). Con tan buenos maestros y con la completa libertad de elección que le dejó su padre, después de haberle hecho obtener la licencia en derecho, Lavoisier se dedicaba al estudio sin decidirse sin embargo por ninguna ciencia determinada y demostrando el mismo entusiasmo para las matemáticas, la astronomía, la química, la física, la botánica y la mineralogía.

En 1765, el estudioso joven presentó una solución a la cuestión del alumbrado público propuesta por la Academia, pero su trabajo, demasiado científico, no le mereció el premio que fué repartido entre BOURGEOIS (4), LE-

---

(1) NICOLAS LACAILLE (Nació cerca de Reims 1713-murió en París en 1762). Siendo huérfano, fué educado por el duque de Borbón que le hizo seguir la carrera eclesiástica. En 1739, Lacaille, joven diácono, ayudó a CASSINI en su medida del meridiano; poco después fué nombrado profesor de matemáticas del Colegio Mazarino y miembro de la Academia de Ciencias (1741). Lacaille hizo sus numerosas observaciones astronómicas en el modesto observatorio del Colegio Mazarino, y se puede creer que con mejores aparatos, su obra hubiera sido más importante aún. Este sabio virtuoso y modesto, sacrificó su vida al estudio y su muerte temprana fué causada por el exceso de trabajo.

(2) GUILLERMO ROUELLE (Nació cerca de Caen 1703-murió en Passy en 1771). Célebre químico que introdujo en la química el grupo de las sales y que formó en sus clases del Jardín del Rey sabios como LAVOISIER, BERTHOLLET, MACQUER, DARCET, CADET, etc., más interesante aún por su carácter que por sus obras. Es un verdadero problema de psicología; genio sintético, de imaginación prodigiosa, verbosidad extrema y pintoresca, franqueza cercana de la grosería, distracción sin límites, ironía mordaz y con esto, grandes virtudes: bondad, modestia y honestidad sinceras. Estas son algunas características de esta grande y original figura. A fuerza de sacrificios, ROUELLE pudo estudiar y llegar a ser farmacéutico. BUFFON fué su protector, Juan Jacobo Rousseau su discípulo, todos los sabios sus amigos. En 1768, abandonó su cátedra a favor de su hermano, HILARIO, también célebre, y se retiró a Passy donde murió tres años más tarde. Era miembro de la Academia de Ciencias desde 1747.

(3) JUAN GUETTARD (Etampes 1715-París 1786). Médico y naturalista, era amigo de B. DE JUSSIEU y de REAUMUR. Su honestidad y su franqueza, a veces excesivas, le daban cierta semejanza con su contemporáneo ROUELLE.

(4) DOMINGO BOURGEOIS (Chateaublanc, Doubs 1698-París 1781). Ingeniero mecánico, vivió y murió casi en la pobreza a pesar de ser el autor del proyecto del alumbrado que fué adoptado por la ciudad de París.

ROY y BAILLY, autores de soluciones más prácticas; pero los académicos reconocieron el valor científico de su memoria y rogaron al rey le gratificara con una medalla de oro, que Lavoisier recibió de las manos del presidente de la Academia de Ciencias en asamblea pública, en 1766.

Esta memoria sobre el alumbrado, varios artículos de mineralogía (sobre el yeso), de física (sobre la fusión del hie-



LAVOISIER y la Sra. LAVOISIER

lo, el trueno, etc.), fueron los primeros trabajos originales de Lavoisier, que cada uno de sus profesores quería dirigir hacia la especialización de su propia materia. ROUELLE resultó vencedor en esta curiosa contienda pues Lavoisier decidió dedicarse a la química, a cuya sección de la Academia perteneció desde 1768.

Solicitó y obtuvo un puesto de recaudador de impuestos (1768), se casó con una mujer que le aportaba una renta de unas 80.000 libras (1774), y al abrigo ya de toda preocupación material, empezó serenamente su carrera cientí-

fica, rodeado por grandes sabios que eran sus amigos, como LAGRANGE, MONGE, CONDORCET, BERTHOLLET (1), LAPLACE, FOURCROY (2), BAILLY (3), que se reunían en su casa, formando así una pequeña academia aparte.

De estas reuniones también formaba parte la señora de Lavoisier, quien, desde su casamiento, se dedicaba con ar-

---

(1) CLAUDIO BERTHOLLET (Talloires, Alta Saboya, 1749-París 1822). Estudió medicina en Turín (capital de Saboya en aquella época), se estableció en París y fué médico de la casa de Orleans. Se especializó en química y conquistó celebridad; dió el análisis del ácido prúsico, del amoníaco, de la plata fulminante y estableció las conocidas leyes de Berthollet, resultado de su feliz concepto de la aplicación de las leyes físicas a la explicación de las reacciones químicas, concepto que hubiera tenido mayores consecuencias en un estado más adelantado de la química. Berthollet perteneció a la Academia desde 1780; en 1794, fué nombrado profesor de la Escuela Normal y de la Escuela Politécnica; fué miembro del Instituto desde su fundación. Formó parte del grupo de sabios de la expedición de Egipto en la que fué compañero inseparable de MONGE. Napoleón lo hizo oficial de la Legión de Honor, Conde del Imperio y Senador, y la Restauración lo hizo par de Francia. Berthollet se retiró a su casa de Arcueil donde reunía sabios y formó esa "Sociedad de Arceuil", en que brillaron sus discípulos: GAY LUSSAC y THENARD. En la Historia de la Física su nombre se recuerda especialmente por haber establecido la analogía entre la difusión y la conductibilidad térmica (1803).

(2) ANTONIO FOURCROY (París 1755-1809), fué actor y empleado en un escritorio, antes que VICA D'AZYR le hiciera estudiar medicina y obtener su título, en 1780. Sus cursos particulares de química lo hicieron conocer y fué nombrado profesor del Jardín del Rey (1784) y miembro de la Academia (1785). Durante la Revolución ocupó puestos políticos, pero se interesó en la protección de la enseñanza y de las ciencias. Murió el día mismo en que Napoleón lo hacía conde y le otorgaba una pensión de 20 mil francos. Su obra interesa la química animal y vegetal. En física, criticó el pirómetro de WEDGWOOD.

(3) JUAN SILVAN BAILLY (París 1736-1793), astrónomo, literato y político francés, su obra maestra científica es su "Ensayo acerca de la teoría de los satélites de Júpiter" y grande también es su "Historia de la astronomía". En literatura deben recordarse sus célebres biografías de Carlos V, LEIBNIZ, Corneille, Moliere, etc. Su vida política empezó con su elección de primer Diputado de París, en 1789. Fué Presidente de la Asamblea Nacional y se opuso con energía, aunque sin violencia, a las órdenes de Luis XVI que afectaban los derechos de los representantes. Fué nombrado alcalde de París al día siguiente de la toma de la Bastilla y salvó la ciudad del hambre. MARAT era su enemigo; en 1793, fué arrestado en Melun en la casa de LAGRANGE y fué guillotinado el 12 de Noviembre, exactamente dos años después de haber abandonado la alcaldía de París en que se había conquistado toda la admiración del pueblo que le dió la muerte.

dor al estudio para poder colaborar con su esposo, como su ayudante de laboratorio, como dibujante de sus obras y hasta como defensora de sus ideas científicas pues explicó por cartas a DE SAUSSURE la nueva doctrina química y este sabio le contestó al fin de esta correspondencia: "Vd. triunfa de mis dudas, señora, al menos acerca del flogisto... y yo era en otro tiempo un gran admirador de STAHL..." (1788).

En 1768, Lavoisier entró en la Academia de Ciencias, donde reemplazó a BARON (1). En 1775, el ministro TURGOT lo nombró director de la Comisión de Pólvoras y Salitre, y el sabio pasó a residir con su mujer en el Arsenal, donde instaló su laboratorio hasta que la Revolución le obligó a abandonarlo (1792).

La Revolución apartó a Lavoisier de sus ocupaciones científicas; formó parte de la Asamblea Provincial de Orleans, fué administrador de la Caja de Descuentos de París, diputado suplente de la Asamblea Constituyente, miembro de la Comuna, Comisario de la Tesorería Nacional. En 1792, rehusó el ofrecimiento de Luis XVI de formar parte del ministerio y sólo se ocupó en la Academia de Ciencias de la Comisión de Pesas y Medidas para la cual determinó con HAUY la densidad del agua para el establecimiento de la unidad de peso.

En 1793, el señor Paulze, suegro de Lavoisier, y la mayor parte de los recaudadores de impuestos fueron arrestados, y el sabio, que había podido ocultarse en la casa de un portero de la Academia, no quiso abandonar a sus colegas administrativos y se constituyó prisionero. El 6 de mayo de 1794, tras breve enjuiciamiento, los 28 recaudadores fueron condenados por una acusación global de haber abusado de su poder y malgastado los dineros nacionales, y el 8 de mayo fueron guillotinados y enterrados en la fosa común.

Lavoisier el sabio más glorioso de su tiempo, fué asesinado así, sin razón y sin derecho, por seres mediocres apo-

---

(1) BARON (París 1715-1768), médico y químico francés, pertenecía a la Academia desde 1752. Estudió "La Evaporación del Hielo" (1753).

yados por masas incultas, y en nombre del progreso y de la libertad.

Hemos visto que la vida científica de Lavoisier principia en 1765, se define unos tres años más tarde y termina con la Revolución. Durante estos veinte años, realizó una obra inmensa.

STAHL había separado la química de la alquimia y de sus fuerzas ocultas y sus espíritus, pero conservaba las ideas de los antiguos sobre los elementos primordiales, el aire, el agua, el fuego y la tierra e introdujo el flogisto, concepto mal definido y variable según los autores, considerado generalmente como un elemento secundario formado por la unión del "fuego puro" y de una substancia cualquiera (1). Son estas ideas, respetadas por todos los químicos del tiempo, que Lavoisier ya se atrevía a poner en duda en 1772, y atacó paulatinamente y con prudencia durante los años siguientes, hasta derrotar la teoría del flogisto y crear la química moderna con su nuevo concepto de los cuerpos simples y con su demostración, por la balanza, del principio de la conservación de la materia. Esta obra destructora y renovadora a la vez es la verdadera obra de Lavoisier, y al lado de ella sólo deben considerarse como secundarios sus otros grandes descubrimientos, porque éstos no necesitaban como aquella una inspiración genial y porque no fueron el fruto de tan poderosa originalidad. Es así que no se discuten los derechos de Lavoisier a aquella obra, mientras que sus descubrimientos provocaron un sinnúmero de reivindicaciones.

No podemos analizar aquí estas cuestiones de historia de la química; pero recordaremos que el aumento de peso en la calcinación de los metales ya había sido observado por GEBER en el siglo VIII, por BOYLE, CARDANO y JUAN REY en el siglo XVII y por TILLET en 1774; que el descubrimiento del oxígeno y de la descomposición del óxido de mercurio fueron realizados casi simultáneamente

---

(1) Química de BAUME (1765).

por PRIESTLEY y Lavoisier (1), y que CAVENDISH descubrió la composición del agua al mismo tiempo que Lavoisier.

En su corta carrera científica, Lavoisier también se ocupó de física y sobre todo del calor, que estudió en colaboración con LAPLACE, con quien escribió su célebre "Memoria sobre el Calor" publicada por la Academia de Ciencias en 1780.

Ya hemos mencionado en el curso de nuestro estudio y desde la antigüedad, defensas aisladas de la hipótesis según la cual el calor no sería un flúido material, sino el resultado del movimiento de las últimas partes de la materia; estos dos conceptos antagónicos acerca de la naturaleza del calor, han coexistido durante siglos, como coexistieron el concepto de la emisión y el de las ondulaciones para la luz; y así como hemos visto a NEWTON vacilar entre éstos y luego adoptar la teoría de las emisiones, vemos a Lavoisier dudar y decidirse en fin, a favor del "calórico". En la memoria de Lavoisier y LAPLACE, después de una larga explicación del calórico, leemos las siguientes líneas:

> "Otros físicos piensan que el calor no es otra "cosa que el resultado de las vibraciones insensibles "de la materia... En el sistema que examinamos el "calor es la fuerza viva que resulta de los movimien- "tos insensibles de las moléculas de un cuerpo y es la "suma de los productos de la masa de cada molécula "por el cuadrado de su velocidad... No decidiremos "entre las dos hipótesis precedentes; muchos fenó- "menos parecen favorables a la última.."

Más tarde, LAPLACE adoptó definitivamente el calórico y Lavoisier en su "Tratado de Química" (1789), que

(1) Véase la biografía de PRIESTLEY, y léase sobre la célebre discusión de "LAVOISIER-PRIESTLEY", la "Historia de la Química de THORPE" y la "Révolution Chimique" de BERTHELOT o BERTHELOT: "LAVOISIER y PRIESTLEY" (Rev. Scient. 1890, p. 513) y la respuesta de THORPE.

marca el fin de su carrera científica, ya no habla del calor como movimiento (1). No fué sino en el siglo XIX que los hermosos trabajos de SADI CARNOT y de MAYER destruyeron la hipótesis de la materialidad del calor.

Las dos leyes que rigieron sus investigaciones no les imponían por otra parte, resolverse a favor de una teoría determinada, pues son aplicables a cualquiera de las dos: "La cantidad de calor libre (calor que se propaga de un cuerpo a otro) permanece siempre igual en las mezclas simples de los cuerpos". "Cuando, en una combinación o en un cambio de estado, desaparece calor libre, éste vuelve a aparecer sin merma cuando se restablece el estado primitivo y, del mismo modo, si hubiera aparecido un aumento de calor libre, éste vuelve a desaparecer al restablecerse el estado primitivo".

En la misma "Memoria sobre el Calor" se encuentran también los conocidos estudios de Lavoisier y LAPLACE sobre dilatación lineal y calorimetría. Para medir la dilatación lineal de los sólidos imaginaron un aparato cuya descripción se encuentra en los textos de física (2), y con el cual además del estudio general de la cuestión y de la determinación del coeficiente lineal de varias materias, observaron que una barra dilatada por el calor no vuelve a su longitud primitiva después del enfriamiento y descubrieron así un fenómeno de histéresis parecido al fenómeno de histéresis elástica descubierto un siglo más tarde. Tampoco necesitamos describir aquí, por muy conocidos, el calorímetro de hielo (3) de Lavoisier y LAPLACE, ni el método que imaginaron para su aplicación a la medida del calor específico de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos, del calor de reacción química, de la combustión, etc. Estos sabios determinaron el calor de fusión del hielo en 75 calorías mientras que

(1) L. POINCARE "La Física Moderna", p. 58.
(2) CHWOLSON. T. VI, p. 97.
(3) CHWOLSON. T. VI, p. 177.

actualmente lo consideramos igual a 97.7 calorías, y exponen así este resultado:

"El calor necesario para fundir una libra de hie-
" lo puede elevar de 60 grados Reaumur la temperatura
" de una libra de agua; de manera que si se mezcla
" una libra de hielo a cero y una libra de agua a 60 gra-
" dos se tendrán dos libras de agua a cero como resul-
" tado de la mezcla; se deduce de esto que el hielo ab-
" sorbe 60 grados de calor al volverse flúido, lo que
" puede enunciarse de esta manera, independientemen-
" te de las divisiones arbitrarias de los pesos y del ter-
" mómetro: El calor necesario para fundir el hielo es
" igual a las tres cuartas partes del que puede elevar el
" mismo peso de agua de la temperatura del hielo fun-
" dente a la del agua hirviente."

No nos parece exacto decir como GRIMAUX (1) que Lavoisier ha "creado la calorimetría", pues sería desconocer los derechos de RICHMANN, de BLACK y de CRAWFORD que habían empleado el método de las mezclas y los de WILCKE que imaginó el método de la fusión del hielo sin que Lavoisier y LAPLACE conocieran sus experiencias; por otra parte, la determinación del calor de fusión de Lavoisier y LAPLACE se aparta sensiblemente de las determinaciones modernas mientras que las de BLACK coinciden con ellas. (Véase BLACK).

Observemos que en la memoria de Lavoisier y LAPLACE encontramos el uso de las expresiones "calorímetro" y "calor latente".

Se debe también a la colaboración ocasional de Lavoisier y LAPLACE, una "Memoria sobre la electricidad que absorben los cuerpos que se reducen en vapores" (1781) y ese trabajo en que se encuentra la descripción del experi-

(1) GRIMAUX. — "Lavoisier", pág. 128 (Edit. Alcan, París, 1888). El autor de esta obra es EDUARDO GRIMAUX (Rochefort 1835-París 1900), profesor de química de la Escuela Politécnica y discípulo de WURTZ.

mento de la electrización por vaporización, nos permite asociar aquí los nombres de Lavoisier, LAPLACE y VOLTA (1). Evitaremos de este modo resolver la cuestión de prioridad entre esos sabios franceses y su colega italiano, que manifestaba haber imaginado desde 1778, este experimento interesante para la explicación de la electricidad atmósferica, pero que sólo lo realizó en 1780, mientras las últimas líneas de la memoria de Lavoisier y LAPLACE dicen que: "el señor de VOLTA tuvo la amabilidad de asistir a nuestros experimentos y de sernos útil en ellos". Si no damos importancia aquí a las apasionadas discusiones que ocasionó esta cuestión de prioridad, es que actualmente no se considera a la vaporización como un origen especial de electricidad sino como un caso particular de frotamiento (2). y, por consiguiente, los experimentos de VOLTA y de Lavoisier y LAPLACE, como más tarde los de PALMIERI, carecen del interés suficiente para obligarnos a repetir tan enojosas discusiones.

---

(1) Véase la biografía de VOLTA.
(2) CHWOLSON, tomo IX, pág. 253.

SIGLO XIX

SIGLO XIX

Aspecto General

Nada más difícil que hacer la síntesis de la historia de la ciencia, en el siglo XIX.

Estamos aún demasiado cerca de ese siglo tan fértil en grandes creaciones científicas para poder juzgarlo objetivamente, y sería temerario pretender formarse actualmente un concepto exacto de sus valores relativos. Tal hecho que hoy nos parece insignificante y tal vez indigno de mención puede ser el germen de toda una nueva rama de la ciencia, mientras que tal otro hecho que nos aparece actualmente como una pródiga fuente de descubrimientos resultará tal vez estéril.

> "La ciencia del siglo XIX me aparece" dijo Pedro Duhem "como un formidable bombardeo en que ver-" dades y errores estallan con terrible estrépito".

La historia crítica del siglo XIX deberá ser hecha por los historiadores de otros tiempos; los historiadores de hoy deben limitarse a reunir materiales y ordenarlos, sin emitir juicios definitivos, ni mucho menos atreverse a hacer pronósticos.

Ciertas observaciones de carácter general saltan sin embargo a la vista.

Se asegura frecuentemente que el siglo XIX "inició" la "Era Científica" de la evolución humana. Sería más justo afirmar que "pertenece" a esa era, cuyo momento preciso de iniciación es imposible determinar, pues hemos visto ya, en los siglos XVII y XVIII, que los descubrimientos

científicos y el espíritu científico aumentaban, en número y en importancia los primeros, en valor y en amplitud el segundo, con tanta rapidez que su asombroso crecimiento evoca la idea de una progresión geométrica. Pero de todas las ciencias, la que ha sido la gran triunfadora del siglo XIX, la que ha sido la generadora de la revolución social y económica derivada del progreso científico, es la Física. Las más grandes, las más deslumbrantes conquistas del siglo XIX le pertenecen y cada uno de sus triunfos teóricos ha dado nacimiento, de inmediato, a inventos prácticos que llenan de asombro a los profanos y que modifican profundamente las normas y las condiciones de la vida de los pueblos. Pero no olvidemos que es el sabio, ese cultor desinteresado — y tantas veces injustamente ignorado — de la ciencia pura, el que brinda al inventor que las muchedumbres aclaman, todos los elementos necesarios a éste para su obra práctica y oportuna.

Aquí no podemos seguir los progresos técnicos o industriales que esos inventores agregan a la obra científica del sabio y sólo ocasionalmente señalamos la iniciación de alguna de esas numerosas derivaciones prácticas de la Física, como: el alumbrado eléctrico, el ferrocarril, el barco de vapor, el automóvil, el aeroplano, el dirigible, la máquina de vapor, el motor de explosión, el dínamo, el telégrafo alámbrico o inalámbrico, el teléfono, la radiotelefonía, la televisión, el gramófono, el cinematógrafo...

Estudiar la historia de todos esos inventos con sus perfeccionamientos técnicos sería penetrar en otro nuevo mundo, de vida amplia y compleja; sería hacer la historia de las industrias y las aplicaciones de la ciencia. El estudio de la Física pura es ya bastante complejo y abundante de por sí. Por otra parte, la conquista práctica, evidente, sensacional, no es sino una consecuencia casual — ni prevista, ni buscada en muchos casos — de la obra científica pura, de esa obra ignorada por las masas, pero que lleva sobre el invento la superioridad de la longevidad, si no de la inmortalidad. Un automóvil de 1900, un receptor radiotelefónico de hace diez años, maravillas de ayer, causan hoy una son-

risa despectiva. Las teorías de ARQUIMEDES, de NEWTON o de FRESNEL, sólidos eslabones de la cadena de la evolución científica, son siempre causa de admiración y de respeto. Sin desprecio por el invento ni por el inventor, reaccionemos sólo contra el culto excesivo que les rinden las masas, y proclamemos que el valor real de la ciencia radica, no en la aplicación, sino en las investigaciones, los descubrimientos, en las leyes y en las teorías, esas vastas inspiradoras y conductoras del progreso material e intelectual.

El cuadro cronológico de los grandes hechos de la historia de la Física que se encuentra al final de esta obra, nos demuestra claramente que nunca ha habido como en el siglo XIX tal multitud de sabios puros de primera magnitud, ni tan abundante florecimiento de descubrimientos teóricos y experimentales.

Más aún, vemos que no ha pasado década de ese extraordinario siglo sin que a la ciencia clásica no se vinieran a agregar, con descubrimientos sensacionales, varios campos nuevos de investigaciones. Y es curioso observar cómo, durante los primeros momentos de entusiasmo, emigran a esos nuevos campos, espontáneamente, la mayor parte de los sabios, mientras algunos prosiguen el estudio secular del tronco antiguo de la ciencia. Pero se observa también que esos nuevos brotos pronto se unen al tronco principal, y que las floraciones se suceden constantemente, creando nuevos entusiasmos.

Es así que vemos el experimento de GALVANI provocar el invento de la pila de VOLTA (1799-1800), que crea de repente, con el esfuerzo común de una infinidad de sabios, la electrodinámica; y entonces se suceden, o más bien se precipitan, los descubrimientos: son las pilas, es la luz eléctrica, son los motores eléctricos, es la electrolítica.

DALTON (1801-1808), mientras tanto, emprende la lucha contra las teorías químicas existentes, para volver a implantar, bajo nuevo aspecto, la teoría atómica de los filósofos griegos.

MALUS (1808) vuelve a descubrir la polarización, y surgen descubrimientos, a veces idénticos y simultáneos, de

BIOT, BREWSTER, ARAGO y FRESNEL (1816), quien crea la teoría de la luz.

OERSTEDT (1819) realiza su célebre experimento y AMPERE, en el espacio de una semana, fusiona el magnetismo con la electricidad en inmortales memorias de las que nace toda una floración de fecundas teorías.

STEPHENSON y FULTON consagran el estudio industrial de la máquina de vapor con el ferrocarril y con el barco de vapor, mientras que CARNOT (1821) inicia su estudio teórico y descubre el principio que, con el de MAYER (1842), engendran la termodinámica, origen de una ciencia nueva: la Energética.

HERSCHEL (1801), WOLLASTON (1802), FRAUNHOFER (1814), analizan y extienden los límites del espectro; y de esos estudios nacerá con BUNSEN y KIRCHHOFF (1859), el análisis espectral que lleva los astros al laboratorio del químico.

El electromagnetismo extiende sus conquistas con el telégrafo (1835), con el teléfono (1876) y con todas las máquinas eléctricas que revolucionan la industria, el comercio y hasta el estado social del mundo.

MAXWELL (1867), inspirado por el gran FARADAY, reúne la luz al electromagnetismo en una teoría cuyas consecuencias llenarán su siglo y el nuestro.

HERTZ (1888) cristaliza los conceptos de FARADAY y de MAXWELL, en inmortales experimentos y principia así la historia de la radiotelegrafía (1895) y de la radiotelefonía, que se burlan del espacio. HITTORFF (1869), y CROOKES (1878) descubren los rayos catódicos, y con ROENTGEN (1895), E. BECQUEREL (1896) y los esposos CURIE (1898), surgen de allí los rayos X y la radioactividad que, unidos a la fluorescencia y a la fosforescencia, hacen temblar los más antiguos conceptos acerca de la materia.

Mientras la astronomía ensancha los límites lejanos del Universo conocido, J. J. THOMSON y LORENTZ (1880), con su creación de la teoría electrónica, extienden sus lími-

tes en el extremo opuesto, más allá de los átomos, que se vuelven mundos a su vez.

Y los conceptos de esa teoría electrónica invaden toda la Física; nos hacen ver que la materia en su último estado se confunde con la electricidad; y penetran aún hasta las bases de la mecánica newtoniana, provocando la teoría de la relatividad de EINSTEIN, al principio de nuestro siglo, con su análisis crítico de los conceptos, antes intangibles, del espacio y del tiempo.

Pero no se pueden hacer listas de las conquistas de la ciencia, pues no hay sucesiones: todo es simultaneidad. Los capítulos de la Física ya no quedan encerrados en sus marcos estrechos; todos se comunican. La electricidad hace progresar a la óptica; la acústica misma descubre leyes generales de los sonidos y de la luz, y viceversa.

Es el desorden, pero no destructor, sino creador, complicado y activo como el mismo Universo.

En el siglo XIX, ya no se mantiene la fe ciega en grandes principios simples e inmutables que rigen el Universo con su tranquilo mecanismo. Los átomos mismos se agitan con vida interior, pierden su sencillez de unidad y tienen sus leyes propias.

Sin embargo, no se puede decir que la Ciencia haya abandonado su ideal de generalización; generaliza de otro modo. ¿No se trata acaso de una magnífica generalización cuando ANDREWS y VAN DER WAALS demuestran la continuidad del estado gaseoso y del estado líquido, y, luego cuando TRESCA y SPRING demuestran la continuidad del estado líquido y del sólido, por más que esto signifique la ruptura de los rígidos cuadros de la ciencia clásica?

Antes del siglo XIX, permanecía el deseo de completar la obra de ARISTOTELES, de separar las ciencias las unas de otras, de separar en cada ciencia los distintos capítulos y de regir cada uno de esos capítulos con principios fundamentales.

Este orden absoluto y artificial, que aún se mantiene en los textos de enseñanza, debió desaparecer de la ciencia. Ya en la primera mitad del siglo XIX, varios capítulos de

la física se fusionan: el principio de la conservación de la energía reunió el calor y la mecánica, en el estudio de la fuerza; la luz se volvió la mecánica de las ondulaciones del éter; la electricidad se soldó al magnetismo.

"En la segunda mitad del siglo XIX, MAXWELL arrojó un puente entre la electricidad y la luz", dice HERTZ; y así el nuevo conjunto se vuelve una mecánica del éter Empezaba pues a cumplirse el sueño filosófico de FARADAY: la unidad de todas las fuerzas naturales como generalización científica ideal.

Un nuevo orden pareció establecerse; pero se descubrieron los rayos catódicos, los rayos X, la radioactividad, que, a fines del siglo, desconcertaron a los sabios, escapando a la unidad general, mientras que, al principio del siglo XX, la teoría electrónica los incluyó también en su plan de conjunto.

Y así debe ser: las generalizaciones siempre son hipotéticas y las hipótesis son efímeras.

¿Y los principios mismos no son acaso hipotéticas generalizaciones? El estudio dogmático de la ciencia, que impera en la enseñanza, infunde una fe exagerada en los principios; y esta fe hace olvidar que la ciencia no deriva de sus principios sino que fué ella que los creó y que sólo los respeta porque le sirven de instrumentos de exploración en los campos desconocidos. Pero la ciencia debe estar siempre dispuesta a abandonarlos tan pronto como un hecho nuevo haga resaltar sus fallas. En oposición con el estudio dogmático, el estudio histórico tiene precisamente la ventaja de hacernos ver que los principios no encabezan la ciencia, sino que son el resultado de teorías comprobadas por el experimento, pero no siempre exentas de los errores de la hipótesis inicial.

Las teorías no pueden tener tampoco la pretensión de erigirse en "explicaciones" de los fenómenos, sino en simples y magníficas "clasificaciones" de hechos, como lo demostró Duhem en su obra magistral: "La Théorie Physique", con numerosos ejemplos. La teoría se vuelve la clasificación de las leyes experimentales, clasificación que hace

descubrir nuevos afinidades entre grupos de hechos, adelantándose así frecuentemente al descubrimiento experimental. Reconocer que la teoría no nos da "una" explicación y menos aún "la" explicación de los fenómenos naturales, puede parecer un pesimismo, un escepticismo, una falta de fe en el valor de la Ciencia. Tal vez... Pero el reconocimiento de la utilidad de la teoría, clasificación fecunda de hechos, fuente de descubrimientos y de nuevas generalizaciones y lazos, es de un optimismo sano y seguro, de una fe absoluta en un progreso "físico" aunque no "metafísico".

Las matemáticas en fin, que desempeñan un papel cada vez más importante en la física, realizan otra obra de generalización, porque la forma matemática permite expresar del modo más concreto el fenómeno resultante de una infinidad de fenómenos elementales.

Citaremos, concordantes con esas observaciones, estas frases que E. Poincaré escribió en el año 1900 (1): — "Hubo un tiempo en que la sencillez de la ley de Mariotte era un argumento invocado a favor de su exactitud. Hoy las ideas han cambiado mucho y sin embargo los que no creen que las leyes naturales deben ser simples están obligados a hacer como si lo creyesen, sino toda generalización, y por lo tanto toda ciencia, sería imposible".

En el siglo XIX, la Física Matemática adquiere, en mecánica, en acústica, en óptica y en electricidad, una importancia enorme, y Poincaré sintetizó su misión al afirmar que a ella corresponde el deber de "guiar la generalización para aumentar el rendimiento de la ciencia". Pero esa Física Matemática toma un desarrollo tal, y, sobre todo, utiliza procedimientos matemáticos tan complejos y superiores, que escapa a la comprensión del mismo físico para volverse accesible sólo al matemático especializado. Pudo afirmarse así que, en el mundo, sólo doce personas alcanzaban a comprender ciertos desarrollos de la teoría de Einstein.

Hemos visto que la Física Matemática, en los siglos anteriores, consideraba, para su análisis, la materia como con-

(1) Revue Générale des Sciences, Nov. 15, 1900.

tinua. A esas primeras teorías se agregaron las que consideran el estado molecular y fijan la forma de sus ecuaciones de acuerdo con este criterio de discontinuidad como las teorías de los electrones, magnetones y quanta.

Otra observación digna de mención es que, con el siglo XIX, continuó la emigración del centro principal de cultura científica y, al mismo tiempo, su difusión o su disgregación. Hemos visto cómo, en los siglos anteriores, estuvo en Grecia y provenía tal vez de la India; luego fué detenido en el Imperio Arabe y de allí se propagó a Europa, donde inició una nueva evolución. Se fijó, en un principio, en Italia y pasó a Francia y a Inglaterra. En el siglo XIX, se extiende ampliamente a Alemania, a Italia, y también a Rusia y a Norte-América; pero ya no se trata de un emigración, sino de una extensión, pues, por haberse intensificado en Alemania, la cultura científica no ha disminuído de intensidad ni en Francia, ni en Inglaterra.

Todas estas rápidas y desordenadas consideraciones nos impondrían el deber de dar fin a esta breve introducción del siglo XIX con un cuadro sintético de la física en el siglo XX y, en fin, con alguna interrogación al porvenir acerca del futuro de la ciencia en general y de la física en particular.

La teoría de Einstein... la teoría electrónica... la teoría de los quanta... los conceptos sobre el éter, la materia... el átomo y el más allá del átomo... son rumbos seguidos por la Física del siglo XX, rumbos que hacen divisar horizontes nuevos hacia los cuales convergen tal vez los caminos de la ciencia y de la filosofía.

Es indudable que esos nuevos conceptos, con los nuevos métodos científicos que imponen, y esas continuas "revoluciones" desorientan al estudioso cuando pretende llegar a tener "ideas claras" acerca del conjunto de la Física. Estamos lejos de la evidencia y del buen sentido cartesiano, de la mecánica newtoniana de sencilla edificación, de la cadena de sólido aspecto de los principios sencillos e inmutables, de las claras "representaciones mecánicas" del Universo y de todos sus fenómenos. Einstein conmueve nuestra fe en los dogmas de espacio y de tiempo absolutos... Planck, con la

adaptación de la estructura atómica en el flujo de energía, con los quanta de representación mecánica imposible por su concepto complejo de discontinuidad, de granulación distinta para cada longitud de onda, de "saltos en la naturaleza", resolvió problemas de energía radiante y de calor específico que no resolvían ni la mecánica clásica por ingeniosamente que se aplicara a la edificación molecular, ni la hipótesis acomodaticia del éter, ni el electro-magnetismo de Maxwell.

La dinámica del electrón nos hace dudar del dogma de la masa inmutable, pues impone a la masa variaciones debidas a la velocidad, sin aportes ni pérdidas de su propia naturaleza. El método de "explicación" de los fenómenos nuevos es también distinto del método físico clásico, y la palabra "explicación" de fenómenos tampoco traduce ya una realidad. Para cada fenómeno se crean hipótesis, teorías o simplemente expresiones matemáticas sin traducción posible en lenguaje vulgar, sin pretender establecerse teorías generales, pero sí procedimientos de progreso en determinado estudio sólo aplicables a ese estudio y muchas veces en contradicción con otros capítulos de la ciencia. Poincaré ya señaló este procedimiento en Maxwell quien "no busca construir un edificio único, definitivo y bien ordenado; pero parece más bien edificar un gran número de construcciones provisorias e independientes, entre las cuales las comunicaciones son difíciles y a veces imposibles".

Pero, además de esas complicaciones teóricas que podrían producir cierto escepticismo, existen realidades maravillosas que aseguran que este nuevo camino que aleja al sabio del "sueño ingenuo de encontrar la palabra final de la ciencia" (1), nos lleva a progresos indiscutibles y más fecundos sin duda que el utópico o, por lo menos, prematuro afán de revelar grandes secretos y de descubrir causas primeras.

Los descubrimientos teóricos del primer tercio del siglo XX, cuyo estudio histórico no puede ser hecho por falta

(1) "Los sabios, o su mayoría a lo menos, ya no piensan encontrar la palabra final de las cosas como lo esperaba ingenuamente Renan en "El Porvenir de la Ciencia" y ya ni están seguros de comprender el sentido de tales expresiones". (E. Picard).

absoluta de distancia, permiten augurar para la ciencia pura nuevos triunfos acerca de los cuales las magníficas aplicaciones: la radiotelefonía, la televisión, el cine sonoro, no serán más que progresos efímeros y secundarios.

Nuestra Epoca Moderna ha sido la más fecunda en la evolución humana y sólo puede ser comparada al hermoso período griego del siglo II antes de J. C. ¿Podrá esta época ser seguida por períodos de retroceso y de olvido de las grandes conquistas del espíritu humano? ¿Debemos ser optimistas o pesimistas?

J. Pérés en su interesante síntesis sobre "Ciencias Exactas" llega a esta conclusión: "Si encontramos excelentes razones intrínsecas para ser optimistas en cuanto al porvenir reservado a las ciencias exactas, una reflexión sobre las condiciones exteriores de la investigación nos inducirá a sacar conclusiones mucho menos satisfactorias".

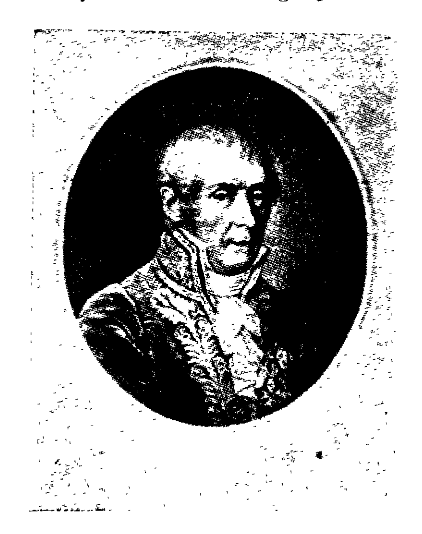
Dicho en otras palabras: Las ciencias puras encierran reservas de energías, fermentos abundantes y fecundos, que les aseguran una vida larga y fuerte, un porvenir promisor, pero, fuera de la ciencia pura, existen tendencias intelectuales, sociales y morales que amenazan ese porvenir. Ante dicho peligro, puede la ciencia misma ofrecer una defensa hermosa y convincente de su valer, haciendo conocer la magnífica historia de sus obras gigantescas, de sus conquistas gloriosas. Este es el medio y el fin de la Historia de la Ciencia.

VOLTA
(1745-1827)

Dilatación del aire. Invento de la pila. Teoría del contacto. Teoría química de la pila. Ley de las tensiones. Electricidad atmosférica. Electrómetro. Difusión de los gases.

ALEJANDRO VOLTA nació en Como en 1745 y murió en la misma ciudad en 1827.

Pertenecía a una familia de origen noble, y su primera educación, hecha bajo la inteligente vigilancia de su padre, le fué dada en la escuela pública de su ciudad natal. Su infancia coincidió con la época de los sensacionales progresos de la electrostática, de la que se ocupó pronto con entusiasmo. A los 18 años estaba en correspondencia con el gran electricista del tiempo, el Abate NOLLET, y, en esa edad en que los jóvenes se sienten poetas, Volta buscó su inspiración en la ciencia y escribió un largo poema sobre los grandes descubrimientos del tiempo. Seis años más tarde (1769), apareció su primera memoria científica en que establecía una teoría nueva de la botella de Leyden, teoría sin trascendencia que no podía pretender reemplazar la explicación de FRANKLIN, generalmente admitida. Su segunda memo-



VOLTA

ria apareció dos años más tarde (1771) y, repleta de observaciones precisas acerca de varios fenómenos eléctricos, aumentó considerablemente la fama de su autor y le hizo obtener, en 1774, la cátedra de física de la Escuela Real de Como. Durante los tres años siguientes, Volta realizó importantes trabajos de electricidad e inventó el electróforo perpetuo (1775), un condensador, el eudiómetro y la pistola eléctrica. Hacia 1777, descuidó un poco sus estudios de electricidad para dedicar la mayor parte de su tiempo a la química, y descubrió el gas de los pantanos y construyó la lámpara perpetua de hidrógeno. En ese mismo año, Volta, cuya fama había traspasado las fronteras, salió por primera vez del estrecho ambiente de su ciudad nativa y viajó en Suiza donde conoció a HALLER (1) en Berna, a Voltaire en Ferney y a HORACIO DE SAUSSURE en Ginebra. Como resultado de este viaje, trajo a su patria la planta de la papa, que era todavía desconocida en Italia. En 1779, ocupó la cátedra de física de la Universidad de Pavía donde, durante cerca de cuarenta años, acudieron a oir sus lecciones todos los que en esa ciudad se alababan de cierta cultura. En 1782, viajó por Alemania, Holanda, Inglaterra y Francia y conoció a LICHTENBERG (2), VAN MARUM, PRIESTLEY, LAVOISIER y LAPLACE. De regreso a Italia, reinició sus importantes trabajos. Utilizó el poder descargante de las llamas en el electrómetro para la observación de la electricidad atmosfé-

---

(1) ALBERTO DE HALLER. (Berna 1708-1777) médico, fisiólogo y literato suizo, pertenecía a una familia aristocrática y profundamente religiosa: estudió en Suiza y Holanda y fué discípulo de BOERHAAVE, DUVERNOY y JUAN BERNOULLI; fué profesor en la Universidad de Gotinga y volvió a su patria en 1753 para ocupar importantes cargos.

(2) JORGE LICHTENBERG (Ober Ramstaed 1742-Gotinga 1799). Fué profesor de la Universidad de Gotinga, físico y matemático, pero es más conocido como autor satírico. Sus "Figuras de Lichtenberg" contribuyeron a hacer admitir la teoría de las dos electricidades. Para formarlas se trazan rasgos en una chapa de resina con cuerpos electrizados, luego se cubre con una mezcla de minio y azufre en polvo y se observa que el azufre se reune en los rasgos trazados con el cuerpo positivo y el minio en los que han sido trazados por el cuerpo negativo. Es de notar sin embargo que Lichtenberg realizaba la experiencia sólo con polvo de resina y que la idea de mezclar minio y azufre se debe a VILLARSY de Estrasburgo (1745-1814).

rica (1787); efectuó experiencias sobre la dilatación del aire (1793), y, en 1800, realizó la obra principal de su vida con el invento de la pila, como resultado de su discusión con GALVANI y sus partidarios. El invento de la pila, tuvo enorme resonancia. Napoleón, primer cónsul, invitó a Volta a París (1801), asistió a sus experimentos en el Instituto, le hizo discernir una medalla de oro por la Academia, le dió un premio de 2000 escudos como viático y lo colmó de honores. Más tarde, emperador, lo condecoró con la Legión de Honor y la Cruz de la Corona de Hierro, lo nombró miembro del Consejo de Lyon, como representante de la Universidad de Pavía, y lo hizo conde y senador del reino de Lombardía (1810). Volta, cansado por el intenso trabajo, quizo varias veces renunciar a su cátedra, pero el emperador se opuso a que abandonara este cargo y sólo fué en 1819, que el sabio se retiró a su ciudad nativa donde pasó los ocho últimos años de su vida en el más absoluto descanso, alejado casi por completo del mundo científico.

Volta fué un hombre honesto y sencillo; su larga vida fué apacible y la única desgracia que proyectó en ella alguna sombra, fué la muerte de uno de sus tres hijos, joven de diez y ocho años en quien el sabio fundaba grandes esperanzas.

Además de los honores ya citados, que fueron tributados al gran sabio italiano, deben recordarse aún la gran medalla de oro de Copley, que le ofreció la Sociedad Real de Londres (1794), y su elección entre los ocho asociados extranjeros de la Academia de Ciencias (1802), puesto en que tuvo a TOMAS YOUNG como sucesor.

Nos detendremos especialmente en el invento de la pila voltáica y en la influencia que ejerció Volta sobre los progresos de la electricidad atmosférica.

Hemos visto que, en 1791, GALVANI publicó su célebre "Memoria sobre las fuerzas eléctricas y los movimientos musculares" y que en ella atribuía a la electricidad animal las contracciones musculares que se producían en el cuerpo de una rana uniendo la médula espinal con las ancas por medio de un arco metálico o, mejor aún, compuesto de dos

metales. GALVANI entendió que se podría buscar el origen de esta electricidad ya en el metal ya en el animal; pero, como buen fisiólogo, rechazó de plano la primera suposición y se empeñó en demostrar la exactitud de la segunda.

También hemos visto como FABBRONI, desde 1792, trataba de demostrar que el origen de esta electricidad era puramente químico, pero este sabio no lograba hacer compartir sus ideas.

La explicación de GALVANI fué admitida con entusiasmo por casi todos los fisiólogos y por muchos físicos, haciéndose sentir apenas una ligera oposición en Francia y en Alemania con REIL (1) y PFAFF (2).

También Volta fué al principio, partidario de la teoría de GALVANI, pero pronto se convenció de la exactitud de la suposición, que GALVANI rechazara de plano, de que el origen de la electricidad debía buscarse en el arco metálico y no en el animal. Explicó entonces que el contacto de materias heterogéneas crea electricidad; que en el experimento de GALVANI con un arco de un solo metal, la electricidad es producida por el contacto del metal y del animal; y que, en el experimento del arco de dos metales, la cantidad de electricidad es mayor por ser ésta producida por el contacto de los metales, que son cuerpos "perfectos electromotores". En completo desacuerdo con la teoría de GALVANI, opuso al nombre de "electricidad animal" el de "electricidad metálica".

Empezó entonces una verdadera lucha entre los dos sabios y sus respectivos partidarios, lucha que duró seis años y fué ardua, pero siempre correcta, respetuosa y honesta.

---

(1) REIL (1758-1813), médico alemán establecido en Halle.

(2) CRISTIAN PFAFF (Stuttgart 1773-1852), médico, fisiólogo, profesor de física y química. Estudió también la dilatación. Se le debe la observación, hecha en 1808, que el plomo y el estaño sumergidos en ácido sulfúrico tienen primero, por unos instantes, una polarización contraria a la que tienen inmediatamente después. AVOGADRO investigó el hecho sin poderlo explicar y se llamó injustamente al fenómeno: "inversión de Avogadro". Fué FECHNER quien dió su explicación, en 1828, por la polarización provocada en los electrodos por el ácido concentrado, mientras que en el ácido diluído la corriente no se invierte y se mantiene en el primer sentido que adquiere en el ácido concentrado.

En Bolonia, se formó una Sociedad Galvanista con los hermanos ALDINI (1), sobrinos de GALVANI, y VALLI; en Pavía se formó una sociedad voltaista con FONTANA (2), BASSIANO, CARMINATI (3) y CARVADORI, mientras que en Inglaterra, TIBERIO CAVALLO (4) provocó la formación de una sociedad semejante con BENNETT (5) y NICHOLSON.

Después de numerosas alternativas en la discusión Galvani-Volta, en que cada argumento nuevo de parte u otra provocaba nuevas observaciones en el bando opuesto, los partidarios de GALVANI demostraron que se podía reemplazar el arco metálico por un arco hecho con los mismos tejidos de la rana, sin cambiar los resultados del experimento, a pesar de la homogeneidad de sus elementos. Este argumento hubiera sido rechazado como los anteriores por los partidarios de Volta, a pesar de su indiscutible valor, cuando el invento de la pila por este sabio vino a terminar inesperadamente la discusión, con la injusta derrota del Galvanismo.

"La prueba más clara" — dice Volta — "del des-
" arrollo de la electricidad por el simple contacto de dos

(1) JUAN ALDINI (Bolonia 1762-1834) fué profesor de la Universidad de Bolonia y miembro fundador del Instituto de Italia.

(2) FELIX FONTANA (Tirol 1730-1805). Físico, químico y botánico italiano, estudió electricidad, la compresibilidad de los gases y la comprobación de la ley BOYLE-MARIOTTE, higrometría y el higrómetro de saturación, y la evaporación, demostrando que el aire no es necesario para este fenómeno.

(3) BASSIANI CARMINATI (Lodi 1750-Milán 1830), médico italiano.

(4) TIBERIO CAVALLO (Nápoles 1749-1809), físico italiano conocido por varias observaciones interesantes además de su actuación en la lucha VOLTA-GALVANI. CASSINI observó que el agua hierve más fácilmente en la altura que en el llano y Cavallo propuso basar en esta observación un método hipsométrico. Cavallo, antes de la construcción del globo de CHARLES, llenaba pompas de jabón con hidrógeno. Este físico escribió dos obras interesantes: "Tratado Completo de Electricidad" (1777) e "Historia de la Aerostación".

(5) ABRAHAM BENNET (1750-1799), físico inglés. Construyó en 1787 un electrómetro de hojas de oro que es, como el de VOLTA, una reunión del condensador y del electrómetro; en 1786 fué el primero en proponer el método de la llama para descargar la punta del electrómetro en la determinación de la electricidad atmosférica. También se le debe un "duplicador" o condensador de cargas eléctricas pequeñas.

" metales, es que en uno de mis experimentos en que
" me servía de varios pares metálicos, obtuve una tensión eléctrica dos, tres y cuatro veces más grande según empleaba dos, tres o cuatro pares de cinc y de plata. Es este gran resultado que al fin del año 1799, me llevó a la construcción de un nuevo aparato que llamé electro-motor y que mis experimentos anteriores no me habían permitido descubrir".

Volta tenía, pues, desde el fin de 1799, el maravilloso aparato que creaba la electrodinámica; pero no le dió mayor importancia en los primeros momentos, pues su columna de discos de plata y de cinc con sus pequeños círculos de paño humedecido, su pila que el llamaba el "electromotor" o "el órgano artificial de electricidad", sólo le pareció un aparato interesante que puede reemplazar la botella de Leyden en los experimentos de fisiología y que tiene la particularidad de producir su propia electricidad en vez de ser cargado previamente como el condensador.

Su mayor alegría fué indiscutiblemente de creer haber dado así la demostración definitiva de la exactitud de su teoría del contacto, pues no pensó en la posibilidad de la influencia química a pesar de reconocer que la pila daba mejores resultados cuando se mojaban los discos de paño con agua salada o acidulada, atribuyendo esto a su mejor conductibilidad eléctrica.

El 20 de marzo de 1800, Volta escribió una carta (1) al presidente de la Sociedad Real de Londres, sir JOSEPH BANKS (2) con la descripción de la pila, y DELUC (3),

(1) Léase el texto de esta interesante carta en FIGUIER, "Merveilles de la Science", t. I, pág. 622 o en GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 384.

(2) JOSE BANKS (Londres 1743-1820). Célebre naturalista inglés, realizó grandes viajes de estudio y acompañó al ilustre navegante Jaime Cook (1728-1779) en varias expediciones.

(3) JUAN DELUC (Ginebra 1727-Windsor 1817). Físico y naturalista suizo; era comerciante pero naturalista por afición y, cuando en 1773 abandonó su patria después de malos negocios, la Sociedad Real de Londres le abrió sus puertas y la reina, esposa de Jorge III, se lo adjuntó como lector. Deluc inventó un barómetro portátil, reemplazó el mercurio por el alcohol en los termómetros einventó la pila seca; fué el primero que explicara la necesidad de hervir el mercurio de los barómetros

CARLISLE (1), CRUIKSHANK (2), DAVY, BENNETT, NICHOLSON, WOLLASTON, PEPYS (3), iniciaron inmediatamente felices investigaciones, mientras en Francia y en Alemania los fisiólogos, físicos y químicos realizaban también una intensa labor, pero sin alcanzar los halagüeños resultados obtenidos por sus colegas de ultramar. En Alemania deben citarse los nombres de GREN, HUMBOLDT (4), RITTER (5), HERMBSTADT (6), UNGER, MULLER, GILBERT (7), VOIGT, GRUNER, BOCKMANN (Carlsruhe 1773-1821), PFAFF, GAHN (8), SIMON, TROMSDORFF y en Holanda,

---

(1762) como ya lo hacían CASSINI y LEMONNIER más de veinte años antes. Fué uno de los primeros en ocuparse de los efectos de la pila de VOLTA y de su teoría química. Su pila seca fué presentada por él a la Sociedad Real en 1809, o sea tres años antes que ZAMBONI realizara el invento que le hace dar injustamente el título de inventor de la pila seca. La pila de Deluc consistía en una columna de 300 discos de zinc y otros tantos de papel dorado en una de sus caras.

(1) ANTONIO CARLISLE. Cirujano inglés, fué uno de los primeros en ocuparse de la pila. El 30 de abril de 1800 construyó una pila de VOLTA y llamó a NICHOLSON como colaborador de sus experimentos. Fué por casualidad que durante un experimento, NICHOLSON colocó un poco de agua en el último disco de la pila para asegurar su contacto con el hilo y observó la descomposición del agua por la corriente. RITTER también observó algo parecido, pero fueron las experiencias de DAVY y de SIMON (1761-1815) que aclararon el fenómeno.

(2) GUILLERMO CRUIKSHANK (Edimburgo 1745-1806). Anatomista, se interesó en el estudio de la pila después de conocer los experimentos de CARLISLE y NICHOLSON; descubrió la descomposición de los óxidos metálicos por la corriente. En 1802 imaginó la "pila de artesa" o sea de cajas horizontales de madera, con láminas de zinc y cobre en agua acidulada. Este dispositivo práctico para la formación de grandes baterías, es atribuído también a PARROT de Dorpat y a VOIGT de Jena.

(3) GUILLERMO H. PEPYS (Londres 1775-Kensington 1856), físico y químico inglés, se ocupó especialmente de electricidad y química industrial. Perteneció a la Sociedad Real de Londres desde 1808.

(4) ALEJANDRO DE HUMBOLDT (Berlín 1769-1859), fué uno de los últimos sabios enciclopédicos y por esta razón mereció el título de "Aristóteles Moderno". Pertenecía a una familia noble de Pomerania; él era barón, su padre había tenido una brillante actuación en el ejército prusiano en la Guerra de Siete Años y su hermano CARLOS GUILLERMO (1767-1835) era célebre literato, filólogo y diplomático. Alejandro de Humboldt estudió en Gotinga, viajó por Europa y recorrió la América del Sur de 1799 a 1805 haciendo observaciones geográficas, de zoología, botánica, astronomía y geología. Pasó entonces veinte años en París con GAY-LUSSAC, LAPLACE, BERTHOLLET y sobre todo con ARAGO, que fué durante cincuenta años su mejor amigo. En

VAN MARUM, como primeros experimentadores de la pila y de sus efectos químicos descubiertos en Inglaterra.

Estos descubrimientos o, más bien, la intervención de los químicos en los nuevos experimentos de electricidad; son las causas de la teoría exclusivamente química de la pila, que GAUTHEROT opuso, en Francia, a la teoría del con-

---

1829 accedió a los repetidos llamados de sus compatriotas y dió célebres clases de cosmografía en Berlín. En el mismo año realizó un viaje a Asia Central y después pasó su vida alternativamente en París y en Berlín.

Fué un gran sabio y un gran corazón: lo demuestra su amistad y su respeto por ARAGO, su honestidad en su colaboración con GAY-LUSSAC, la ayuda que prestó a LIEBIG, a quien hizo nombrar profesor en Giessen a los 21 años; al joven HELMHOLTZ que presentó a sus amigos franceses, y a MELLONI, desterrado, a quien, con ARAGO, hizo volver a Italia y nombrar profesor en la Universidad de Nápoles. OSTWALD dice pues, con razón, que los jóvenes encontraban "la figura bendita de Humboldt siempre activo cuando se trataba de reconocer y fortalecer el genio en su aurora". Las obras de Humboldt eran leídas con avidez; su "Cosmos", vasta enciclopedia científica escrita en los diez últimos años de su vida, acrecentó aún más su gloria. En física, se recuerdan sus "Experiencias sobre el Galvanismo" (1799), sus ascensiones aerostáticas y sus trabajos endiométricos con GAY-LUSSAC; su "Tratado de Física General" y numerosas memorias de menor importancia. Observó que una pila Zn|H^2 O|Ag., el zinc se oxida y la plata se cubre de hidrógeno. RITTER, WILSON y DAVY hicieron observaciones similares sobre los efectos químicos dentro de la pila.

(5) JUAN RITTER (1777-1810), físico y químico alemán de la Universidad de Jena, escribió una obra sobre galvanismo (1798) llena de ideas originales, de las cuales muchas son precursoras de progresos sobre los cuales, sin embargo, no ha tenido influencia por haber pasado inadvertida su obra. Propagó la teoría química de la pila de Alemania; emitió, sin demostrarla, la idea de que una pila es comparable a un imán; observó (1801), casi simultáneamente con WOLLASTON, la acción química de rayos invisibles del espectro solar (véase HERSCHEL y WOLLASTON); inventó (1803) la "pila secundaria" que lleva su nombre; llegó, como VOLTA, y completamente independiente de éste, a la ley de tensiones de la pila; hizo en 1801 la observación de una corriente térmica, precediendo a SEEBECK, pero éste no tuvo conocimiento de esta observación de Ritter; en 1805, emitió una teoría de la descomposición del agua, que repudió después, pero que es precursora de la teoría de GROTTHUS; también puede ser considerado precursor del invento del arco voltaico por haber observado que la chispa de abertura de corriente es más luminosa cuando el conductor tiene una punta de carbón. Esta intensa labor experimental y teórica de Ritter permite a algunos historiadores darle una importancia excepcional y hacerlo figurar, como precursor directo o indirecto, en casi todos los descubrimientos de electricidad del principio del siglo XIX.

(6) HERMBSTADT (Erfurt 1760-Berlín 1833), químico alemán.

(7) LUIS G. GILBERT (1756-1832), profesor en Halle y Leipzig. Se ocupó también de acústica.

(8) JUAN G. GAHN (1745-1818), químico y mineralogista sueco.

tacto, desde 1800, con argumentos parecidos a los de FABBRONI, y que, al año siguiente, WOLLASTON extendió hasta considerar las reacciones químicas como el único origen de la electricidad dinámica y también de la electricidad de frotamiento. Muchos químicos ingleses adoptaron la teoría de WOLLASTON mientras que el físico ruso PARROT (1), profesor en Dorpat, propagaba ideas parecidas en Alemania, y DAL NEGRO hacía otro tanto en Italia.

La teoría del contacto tenía sin embargo sus partidarios: BIOT (1803) quiso establecerla matemáticamente; el fisiólogo PFAFF la seguía defendiendo en Alemania; y en fin, OHM, de 1820 a 1827, estableció su célebre ley de relación entre la fuerza electromotriz, la intensidad y la resistencia de los conductores como consecuencia de su creencia en esa teoría.

Otros sabios buscaban una solución intermedia en que se estableciera una especie de equilibrio entre las dos fuentes de electricidad de la pila, el contacto y la acción química, y entre ellos citaremos en primer lugar a DAVY cuyas ideas fueron compartidas por GAY-LUSSAC, THENARD, JAEGER y BERZELIUS. Sin embargo, la argumentación matemática de OHM y su descubrimiento de su célebre ley habían atraído muchas adhesiones a la teoría del contacto, único origen de la fuerza electromotriz de la pila, cuando los trabajos de AUGUSTO DE LA RIVE (1835) y de FARADAY (1840) impusieron la teoría química. Si leemos las obras del siglo XIX, vemos hasta qué punto la teoría del contacto era considerada falsa, y como ejemplo citaremos los siguientes pasajes:

> " Por un encadenamiento de observaciones inexac-
> " tas y de malas interpretaciones de hechos, Volta lle-
> " gó a descubrir su aparato... discutió su observación

---

(1) PARROT, físico ruso, profesor en Dorpat y en Riga. Fué premiado, en 1801, en la Sociedad Batávica de Ciencias de Haarlem, por su teoría química de la pila. También defendió una teoría química de la luz (véase FRESNEL), y fué uno de los primeros sabios del siglo XIX que se ocuparan de ósmosis.

"equivocada con continuas peticiones de principio...
"Uno se pregunta hoy con sorpresa cómo Volta, en
"los experimentos hechos con su aparato, no ha obser-
"vado ninguno de los hechos que destruyen su teo-
"ría... principio que significa la admisión de la exis-
"tencia del movimiento perpetuo... Estamos conven-
"cidos que prefirió guardar silencio sobre estos he-
"chos para no llevar la discusión sobre efectos en des-
"acuerdo con su teoría..." (1)

"Es interesante recordar una época en que los pro-
"fesores de física exponían a su auditorio admirado,
"la teoría de la pila voltaica; el simple contacto de dos
"metales que no perdían ni ganaban nada, según ellos,
"hacía sin embargo engendrar en el aparato mágico
"efluvios capaces de rivalizar con el brillo del sol, co-
"mo luz, con los combustibles los más enérgicos, co-
"mo calor, con las afinidades las más poderosas co-
"mo descomposiciones químicas; propios hasta para
"hacer reaparecer, por algunos instantes, el mecanis-
"mo de la vida en un cadáver inanimado... Una cien-
"cia verdadera ha soplado sobre las pompas de jabón
"de esta ciencia falsa... No hay, pues, ni electricidad
"de contacto verdaderamente práctica, ni electricidad
"animal... toda acción química desarrolla electrici-
"dad." (2)

Los hermosos trabajos de FARADAY hicieron tomar una decisión demasiado categórica y prematura por los sabios del siglo pasado; y esta seguridad contrasta con la prudencia que observamos al respècto en las obras modernas:

"El contacto de cuerpos, física o químicamente
"diferentes, es una fuente de electricidad. El proble-
"ma de saber si este contacto, para ser una fuente de
"electricidad o del estado eléctrico, debe ir acompaña-
"do de otro fenómeno cualquiera, por ejemplo de una
"reacción química, de una difusión mutua de las subs-

(1) FIGUIER, "Merveilles de la Science", tomo I, pág. 620-696.
(2) DUMAS, Elogio de FARADAY.

"tancias en presencia, etc...., no puede resolverse en
"la actualidad." (1)

Volta dió a BANKS el primer esbozo de la "ley de las tensiones" en cuyo primer descubrimiento parece haber sido precedido por RITTER.

La fuerza electromotriz de una pila es igual a la suma de las fuerzas electromotrices originadas por los distintos contactos en la misma. En un par de Volta, por ejemplo, si llamamos E la fuerza electromotriz total; e la fuerza electromotriz debida al contacto entre la plata (Ag) y el agua acidulada (H^2SO^4); e_2 la misma fuerza en el contacto entre el electrólito y el zinc (Zn); e_3, entre el zinc y la plata, tenemos:

$$E = e_1 + e_2 + e_3 = Ag \mid H^2SO^4 + H^2SO^4 \mid Zn + Zn \mid Ag$$

El valor de E es fácilmente determinable, pero no pasa lo mismo con sus componentes e_1 e_2 y e_3 WOLLASTON consideraba $e_3 = O$; FARADAY le atribuía un valor insignificante como también lo hacen los electroquímicos modernos alemanes, JAHN, LE BLANC, LUPKE (2), NERNST, OSTWALD; mientras otros físicos modernos creen que e_3 puede representar hasta más de las tres cuartas partes de E y entre éstos indicaremos los nombres de CLIFTON (1877), STREINTZ (1878), HOLLWACHS (1886), KOHLRAUSCH (1850). Entre otros partidarios de la teoría del contacto de los metales, recordemos aún los nombres conocidos de HELMHOLTZ y LORD KELVIN.

Como conclusión, citaremos las frases siguientes de la obra de Chwolson (3) que nos ha dado también los datos anteriores:

(1) CHWOLSON, tomo IX, pág. 183.
(2) ROBERTO GUILLERMO LUPKE (Aschersleben 1857-Berlín 1903), químico alemán.
(3) CHWOLSON, tomo IX, págs. 175-248.
ORESTES CHWOLSON, autor del "Tratado de Física" y que tanto citamos en esta obra, es un célebre físico ruso. Nació en 1852 y es hijo del conocido orientalista DANIEL CHWOLSON. Se ocupó especialmente de actinometría, del amortiguamiento magnético, de magnetismo remanente y de inducción magnética.

"Por lo tanto el problema continúa en pie... La
" antigua teoría química que admitía que en todos los
" casos de contacto entre cuerpos aparecía una reac-
" ción química determinada como origen de la electri-
" cidad, está casi enteramente abandonada... Cuando
" se considera la cuestión de un modo imparcial y ob-
" jetivamente, hay que reconocer que en la actualidad
" no se sabe nada absolutamente acerca de los com-
" ponentes de la fuerza electromotriz de un elemento,
" y que el problema está planteado del mismo modo que
" una centuria atrás..."

Volta se ocupó de electricidad atmosférica y realizó interesantes y originales trabajos. Perfeccionó el electrómetro de dos hilos cuya primera idea se debe a NOLLET y reemplazó las bolitas de saúco por dos laminitas de paja (1781); luego, cuando SAUSSURE (1785) aumentó la sensibilidad del electrómetro agregándole una punta metálica de unos 80 ó 90 centímetros de longitud, Volta (1787) encendió en el extremo de esta punta una mecha con alcohol o azufre, reproduciendo el método de la llama imaginado por BENNET en 1786, quien también imaginó reemplazar la paja por láminas de oro. La propiedad de las llamas de aumentar la sensibilidad del electrómetro, que Volta atribuía a la descarga de la punta por las partículas del humo, hizo creer a este sabio que fuegos encendidos en tiempo de tormenta llevarían a las nubes cargadas de electricidad, la electricidad de signo contrario de la superficie de la Tierra, las neutralizarían e impedirían de tal modo la formación del relámpago. Llegó aún a afirmar que los antiguos conocían empíricamente esta propiedad de las llamas y que allí radica el origen de los fuegos que encendían en sus ceremonias religiosas.

Creyó encontrar una explicación de la causa de la electricidad atmosférica en la evaporación del agua, cuando observó por medio del electrómetro que si se hace hervir agua en un recipiente aislado, el vapor se carga negativamente y el recipiente y el agua positivamente. Hemos visto que LAVOISIER y LAPLACE realizaron el mismo ex-

perimento en 1780 en presencia de Volta (1), pero que este sabio decía haberlo imaginado dos años antes aunque sólo lo realizara prácticamente en el mismo año de 1780; de allí, resultó una apasionada discusión de prioridad que no hemos creído necesario estudiar por dos razones: 1º porque el experimento no hace descubrir un nuevo origen de la electricidad, pues se reduce a un simple caso de frotamiento, y 2º porque la teoría de la electricidad atmosférica deducida por Volta de ese experimento y defendida con entusiasmo por PALMIERI, no es más que una de las treinta y cinco teorías serias (2) que tratan de explicar la electricidad atmosférica y no es, ni con mucho, la más probable de estas numerosas pretendidas soluciones de un problema que permanece aún sin resolver.

Completamente aparte de los estudios de Volta antes señalados, debemos recordar que, en 1790, este sabio publicó en los "Anales de Química de Brugnatelli" el relato de una experiencia que es considerada como el punto inicial del estudio de la difusión de los gases, cuestión en cuya historia figuran trabajos de DALTON, GAY-LUSSAC, MITCHELL, GRAHAM, REGNAULT, etc. El experimento de Volta consistía en invertir sobre un recipiente con aire otro recipiente con hidrógeno y en observar que, después de poco tiempo, ambos recipientes contenían una mezcla explosiva de aire e hidrógeno. (Véase DALTON).

MONGE
(1746-1818)

El espejismo. Otros trabajos.

GASPAR MONGE nació en Beaune en 1746 y murió en París en 1818.

Era hijo de un vendedor ambulante que, en los alre-

---

(1) Véase la biografía de LAVOISIER.
(2) CHWOLSON, tomo IX, pág. 368.

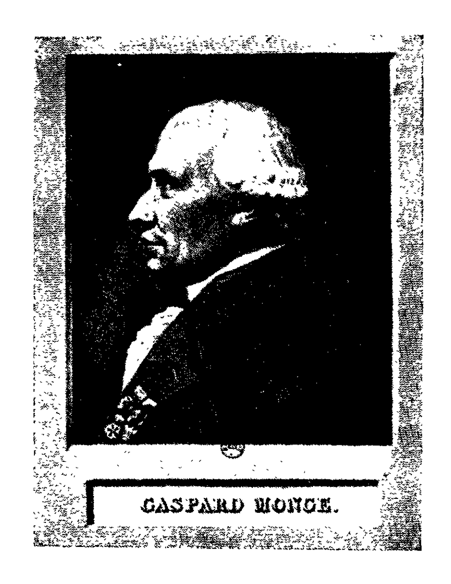
dedores de la ciudad borgoñesa de Beaune, hacía penosas giras ofreciendo de puerta en puerta su modesta mercancía. Este humilde comerciante tenía tres hijos y con grandes sacrificios los hizo educar por los hermanos de la Congregación del Oratorio que dirigían un importante colegio en Beaune. Los tres niños eran buenos alumnos, pero Gaspar, el mayor de ellos, se destacaba por sus disposiciones excepcionales, y su afán de triunfar se debía menos a la ambición o el amor propio que al deseo de demostrar a su padre su sincera gratitud.

A los diez y seis años, este brillante alumno, que además de sus éxitos escolares se había hecho conocer por el invento de una bomba de incendio y por el trazado de un plano de Beaune de extrema precisión, fué llevado por los Oratorios de Lyon como profesor de física del colegio que dirigían en aquella ciudad. En sus lecciones supo granjearse la simpatía y la admiración de sus alumnos y de sus colegas. Los hermanos oratorios trataron de hacerlo entrar en las órdenes, pero su padre lo apartó de la vida religiosa con prudentes consejos, escuchados con respeto por el joven profesor, y le hizo abandonar el colegio de Lyon e inscribirse como alumno en la Escuela Militar de Mezieres. En esta aristocrática escuela, el hijo del mercachifle fué considerado como simple aprendiz, pues por su nacimiento no parecía digno de llevar galones de oficial, hasta que el cuerpo de profesores y el estado mayor, asombrados al descubrir que el joven cadete había establecido un método matemático original para el estudio de las fortificaciones, lo nombraron repetidor de matemáticas de la Escuela de Mezieres, donde los aristocráticos ingenieros militares escucharon con respeto sus magistrales enseñanzas.

El descubrimiento del joven matemático no era nada menos que la Geometría Descriptiva, hermosa ciencia ya esbozada en ciertas prácticas de los dibujantes y constructores, pero que carecía aún de los fundamentos exactos, de las definiciones precisas y de los principios indestructibles que Monge le aportó.

Esto pasaba poco antes de 1768, año en que nuestro sabio, que contaba 22 años, fué nombrado profesor titular en reemplazo de BOSSUT (1); pero su descubrimiento fué considerado como secreto militar hasta 1794, año en que Monge pudo enseñar públicamente la geometría descriptiva en la Escuela Normal.

En 1771, la muerte del Abate NOLLET le hizo ocupar la cátedra de física de la Escuela de Mezieres y lo interesó en el estudio de las ciencias químicas y físicas. En 1780, fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias



MONGE

y profesor de hidráulica en el Louvre, sin renunciar a sus cátedras de Mezieres y residiendo alternativamente seis meses en París y otros seis en aquella ciudad; pero abandonó definitivamente la Escuela Militar en 1783, cuando la muer-

(1) Abate CARLOS BOSSUT (Tártaras 1730-París 1814), célebre matemático francés, amigo de FONTENELLE y de D'ALEMBERT, miembro de la Academia de Ciencias (1768), profesor en Mezieres y en la Escuela Politécnica. Estudió especialmente hidrodinámica. Dejó importantes obras de mecánica y publicó las obras de PASCAL.

te de BEZOUT (1) provocó su nombramiento como examinador de la marina.

Después de esta época, realizó su descubrimiento de la composición del agua sin conocer los trabajos de CAVENDISH y escribió numerosas memorias presentadas a la Academia, sobre matemáticas y especialmente análisis, sobre óptica, mecánica, capilaridad, meteorología y hasta sobre metalurgia pues estudió con BERTHOLLET y VANDERMONDE (2) los distintos estados del hierro, y escribió su obra "Consejo a los obreros sobre la fabricación del acero". (1794)

Cuando llegó 1789, Monge, apartado de la política, recibió con alegría y confianza la aurora de ese nuevo día de la Humanidad, pero sólo tomó parte activa en el nuevo régimen en agosto de 1792, aceptando el ministerio de la Marina rehusado por CONDORCET, y realizando durante ocho meses, una labor honesta y patriótica de indiscutible mérito en tiempos tan turbados.

Cuando la ejecución de Luis XVI generalizó la coalición de los países europeos que se aliaron a Prusia, Austria y Piamonte en su lucha contra Francia y cuando el Comité de Salvación Pública hizo un llamado a los sabios para que cooperaran con sus conocimientos a la defensa de la patria, Monge fué uno de los primeros en ofrecer sus servicios; cuando faltó el salitre que antes provenía de India, indicó que el país tenía una suficiente reserva de este producto en las paredes de los sótanos, de las caballerizas y de los lugares húmedos en general, para que no callara la voz de los cañones; vigiló la fabricación de las armas y de los proyectiles y escribió al respecto una obra: "Arte de fabricar cañones". Con el 9 termidor, Monge fué comprendido entre los sospechosos y sólo con la huída pudo escapar de una segura ejecución; pero, cuando la Convención se preocupó de la reorganización de la instrucción pública a pesar de la angustiosa situación que atravesaba Francia, Monge sugirió la idea

(1) ESTEBAN BEZOUT (Nemours 1730-1783), célebre matemático francés.

(2) VANDERMONDE (París 1753-1796), matemático francés.

de la fundación de la Escuela Politécnica (22 de setiembre de 1794) y enseñó en ella con LAGRANGE, PRONY, FOURCROY, VAUQUELIN, BERTHOLLET, CHAPTAL, GUYTON DE MORVEAU y otros grandes sabios. También fué nombrado profesor de la Escuela Normal, de reciente fundación (31 de octubre de 1794) y enseñó la geometría descriptiva, ciencia que de esa cátedra se propagó al mundo entero. Colaboró activamente a la organización del Instituto de Francia, organización ideada por CONDORCET y en la cual fueron reunidas, en 1795, todas las academias que habían sido suprimidas en 1793.

En 1796, Monge formó parte de una comisión enviada a Italia por el Directorio, y de sus relaciones con el joven general Bonaparte nació una amistad sincera y desinteresada. Es debido a esta amistad, que el sabio fué designado para llevar a París el tratado de Campo Formio y que, más tarde, confidente del secreto de la expedición a Egipto, fué encargado, conjuntamente con BERTHOLLET, de la formación de un cuerpo de sabios que constituyeron con cuarenta y seis egresados de la Escuela Politécnica, invitándoles a participar en una misión científica y civilizadora cuyo destino no podía serles revelado. Durante el viaje a Egipto, Bonaparte se deleitaba con la compañía de los inseparables amigos, Monge y BERTHOLLET, quienes en el curso de la expedición supieron ser sabios y soldados según las circunstancias. Cuando Bonaparte fundó el Instituto de Egipto, confió a Monge su presidencia. En el Imperio, Monge fué nombrado senador, gran oficial de la Legión de Honor y Conde de Pelusa en recuerdo de sus trabajos en las ruinas de Pelusa; pero la segunda Restauración recordó su amistad con Napoleón y, en 1816, en los nuevos cuadros del Instituto, los nombres de Monge y de CARNOT fueron omitidos.

El Emperador prisionero, el Imperio desmantelado, el cierre de la Escuela Politécnica en la cual, durante veinte años, había enseñado, su exclusión de la Academia en que se había visto rodeado de amigos durante treinta y seis años,

fueron golpes tan severos para el anciano sabio que perdió para siempre el dominio de sus facultades.

Murió dos años después y el matemático DUPIN (1), en un noble gesto, publicó un "Ensayo Histórico sobre los servicios y trabajos de Monge".

En física el nombre del célebre fundador de la geometría descriptiva se recuerda generalmente por su descripción de los sabios sobre el espejismo, que fué tratado por ya era conocido por los antiguos y fué señalado por FERRARI en 1502; en el siglo XVII, el invento de los anteojos y el estudio de la refracción volvieron a atraer la atención de los sabios sobre el espejismo, que fué tratado por HUYGHENS. Los soldados del ejército de Egipto, avanzando en el desierto, creyeron reconocer el mar en una estrecha franja azul, pero ésta se alejaba a medida que avanzaban hacia ella. Monge describió esta observación y la explicó en la forma siguiente: Las capas de aire cerca del suelo caliente tienen una densidad menor que las capas superiores; un rayo dirigido hacia el suelo atraviesa cada capa con un ángulo cada vez mayor hasta llegar al ángulo límite y reflejarse totalmente en una capa inferior hacia el ojo del observador, quien vé los objetos invertidos en una posición más baja que la verdadera.

WOLLASTON dió también una explicación física del espejismo y BIOT dió la interpretación matemática de estas explicaciones. Más tarde, GERGONNE, TAIT, BRAVAIS, WOOD (1889), KUMMER y SCHMIDT estudiaron el fenómeno bajo diversos aspectos. (2)

---

(1) CARLOS DUPIN (Varzy, Nivernais, 1784-París, 1873), matemático y estadista, escribió obras de matemáticas, política, física, arte militar y literatura. Fué continuador de MONGE en geometría descriptiva y de MALUS en la refracción. En historia de ciencias, dos de sus obras merecen el respeto: una es la que acabamos de citar y la otra es sus "Memorias sobre la Marina y los Puentes y Caminos", en que elogia la obra de CARNOT, que la Segunda Restauración mantenía en el destierro. Dupin fué miembro de la Academia Jónica fundada en Corfú por Napoleón, miembro del Instituto (1818), barón (1824), Consejero de Estado (1831), miembro de la Academia de Ciencias Morales y Políticas (1832), par de Francia (1837), senador (1852), etc. Sus hermanos SIMON y JACOBO fueron célebres magistrados y políticos.

(2) Véase CHWOLSON, tomo IV, pág. 352; GANOT, pág. 456.

Recordaremos además como trabajos físicos de Monge, su estudio de la doble refracción, su explicación del tono, su teoría del timbre que atribuyó a armónicas, como más tarde lo demostrara HELMHOLTZ y sus experiencias para descubrir la ley o ecuación de la dilatación de los gases que lo hacen precursor, aunque sin éxito, de GAY-LUSSAC.

Más aún que por estos trabajos, el nombre de Monge tiene excepcional valor en una Historia de Ciencias Exactas por la gran influencia que ejerció este sabio sobre el progreso científico en la aurora del siglo XIX.

LAPLACE (1)
(1749-1827)

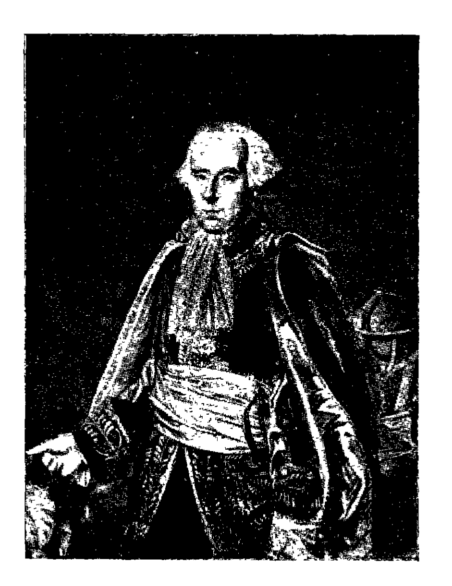
Atracción Universal. Su estudio del calor con LAVOISIER. Optó por el calórico. Defendió la teoría de las emisiones con conceptos que aplicó a la capilaridad, la elasticidad y la conducción del calor. Fórmula hipsométrica. La capilaridad y la tensión superficial. Relación entre la velocidad del sonido en los gases y su calor específico. Vibraciones longitudinales. Propagación de ondas en los líquidos. Teoría del potencial.

PEDRO SIMON LAPLACE, el inmortal autor de la "Mecánica Celeste", nació en 1749, en Beaumont, pequeña aldea de Calvados y murió en París en 1827, cien años después de NEWTON.

Se sabe que Laplace era hijo de pobres cultivadores y que estudió en un colegio de benedictinos en su pueblo natal; pero se carece de mayores datos biográficos de su juventud, pues este ilustre sabio tuvo la debilidad de avergon-

(1) Léase "L'œuvre scientifique de Laplace" por ANDOYER. (Payot, París, 1922).

zarse de su origen y callar los recuerdos de su humilde infancia. No tenía veinte años cuando llegó a París y su mérito le granjeó el apoyo de D'ALEMBERT que lo hizo nombrar profesor de matemáticas en la Escuela Militar (1768); y, a pesar de su poca edad, empezó intensos estudios de matemáticas, astronomía y física, cuyos resultados concretó en numerosas memorias presentadas a la Acade-



LAPLACE

mia de Ciencias, a la cual ingresó como ayudante mecánico en 1773 y como miembro diez años más tarde (1783).

En 1776, Laplace fué alejado de la Escuela Militar con motivo de la reorganización de ese establecimiento, creándosele una difícil situación por lo limitado de sus recursos, situación que sólo fué mejorada cuando fué nombrado examinador de artillería en reemplazo de BEZOUT en 1783.

En 1793, cuando el terror disolvió la Academia, Laplace fué alejado de la "Comisión de Pesas y Medidas", conjuntamente con LAVOISIER, BORDA, COULOMB, BRISSON y DELAMBRE, y se retiró a Melun donde

conoció a BOUVARD, quien fué su amigo y su colaborador. Fué en su retiro de Melun, que Laplace dió la hospitalidad al infortunado BAILLY, quien de allí marchó al patíbulo.

En 1794, Laplace fué profesor adjunto de LAGRANGE en la Escuela Normal; al año siguiente entró con el mismo sabio a la "Oficina de Longitudes" y, siempre con LAGRANGE, fué miembro fundador y residente del Instituto.

El Imperio lo hizo Ministro del Interior, presidente del Senado, gran oficial de la Legión de Honor, dignatario de la orden de la Reunión y Conde; pero Laplace votó la destitución de Napoleón, y la Restauración lo hizo par de Francia, marqués, gran cruz de la Legión de Honor, miembro de la Academia Francesa y de la Academia de Ciencias.

Desde 1806, se instaló en Arceuil, en una propiedad vecina a la de BERTHOLLET en cuya casa se reunía, como lo hemos visto, la "Sociedad de Arcueil", en la que figuraban también: CHAPTAL (1), HUMBOLDT, DE CANDOLLE, THENARD, GAY-LUSSAC, MALUS, ARAGO, DULONG, BIOT, POISSON.

Laplace, sabio de indiscutible valer, cuyo nombre está íntimamente unido al de NEWTON, tenía graves defectos de carácter. Era ambicioso y servil ante los poderes, y estos defectos que tanto lo ayudaron como político, conspiraron contra su prestigio de sabio, lo mismo que su amor por la precisión científica y por la infalibilidad de los principios matemáticos conspiraron muchas veces contra su fama de político. Fué su ambición lo que le hizo condenar al destierro a Napoleón, de quien había recibido grandes honores, y fué su ambición también que le hizo olvidar muchas veces en sus obras científicas citar los nombres de sus predecesores.

Debe recordarse sin embargo que, cuando fué nombrado ministro, tuvo un gesto noble, ya que, al día siguiente de

(1) JUAN A. C. CHAPTAL, Conde de Chanteloup (1756-1832), eminente político y químico francés.

su nombramiento, decretó una pensión a la viuda de BAILLY abandonada en la miseria; debe recordarse también que, como sabio, tuvo la generosidad de ser siempre el consejero y el amigo de los jóvenes, como lo fué para BIOT y para POISSON mientras no pretendían llegar a ser sus rivales.

Pero el hombre y la obra tienen cada uno su vida propia y los grandes errores del uno no disminuyen la grandeza intachable de la otra. El "Tratado de la Mecánica Celeste" (1798-1825), la "Exposición del Sistema del Mundo" (1796) y la "Teoría Analítica de las Probabilidades" (1812) son obras que inmortalizan a un sabio y enaltecen a su patria y a la humanidad. Después de los nombres de COPERNICO, KEPLERO, GALILEO y NEWTON, genios que trazaron la imagen del universo, acuden a la memoria los nombres de sus continuadores: CLAIRAUT, EULER, BERNOULLI, D'ALEMBERT, LAGRANGE y HALLEY, y estos evocan a su vez el nombre de Láplace cuya obra es la resultante de sus obras.

Desde 1773, con su "Memoria acerca de las desigualdades seculares de los planetas", Laplace demostró la invariabilidad de los movimientos medios o de los grandes ejes de las órbitas planetarias; y con esta base, su "Exposición" y su "Mecánica Celeste" fortalecen el principio de la atracción universal con la explicación de las desigualdades observadas en los movimientos de la Luna, Júpiter y Saturno.

Este descubrimiento era una magnífica victoria para la ciencia, pues las variaciones de velocidad de algunos astros habían preocupado a NEWTON, EULER y LAGRANGE, sin que pudieran vencer estos obtáculos, mientras que con él, Laplace estableció el principio de la atracción universal como "condición necesaria y suficiente" al movimiento de los astros, generalización que NEWTON no se atrevía a hacer pues creía en la necesidad de un ser superior que restableciera el orden en este movimiento.

La "Exposición del sistema del mundo" es la "Mecánica celeste" al alcance de lectores menos especializados en las

matemáticas, y esta obra magnífica de pureza y claridad, está terminada por una historia de la astronomía de indiscutible belleza y valor. El "Tratado del cálculo de las probabilidades", publicado en 1812 pero ya esbozado en un trabajo de 1783, es una obra profunda que hizo hacer un paso considerable a este capítulo de las matemáticas tan felizmente empezado por PASCAL, FERMAT y HUYGHENS.

Pero Laplace figura aquí en una historia de la física y es como físico que debemos considerarlo. FOURIER en su "Elogio de Laplace" dice: "Laplace fué casi tan grande físico como geómetra; sus investigaciones sobre las refracciones, los efectos capilares, las medidas barométricas, las propiedades estáticas de la electricidad, la velocidad del sonido, las acciones moleculares, las propiedades de los gases, atestiguan que nada en la investigación de la naturaleza podía serle extraño..."

Al estudiar la obra de LAVOISIER hemos hablado de la célebre "Memoria acerca del Calor" que publicó en 1780 en colaboración con Laplace; hemos visto que, fuera de ciertas dudas, Laplace era partidario del "calórico" material, y hemos citado sus trabajos sobre calorimetría, determinación del calor específico de los gases, invento del calorímetro de hielo, dilatación de los sólidos y de los gases, cuestiones que no volveremos a tratar aquí como tampoco volveremos a hablar de sus experimentos realizados también con LAVOISIER sobre producción de la electricidad por la evaporación, y citados en las biografías de LAVOISIER y de VOLTA. Debemos, sin embargo, explicar el origen de esta colaboración entre el geómetra y el químico, en estudios de física. Una carta de Laplace a LAGRANGE, de 1783, nos muestra que ésta se debió a la casualidad: "Yo no sé a la verdad cómo me he dejado convencer para hacer trabajos de Física, y quizás encontrará Vd. que hubiera obrado mejor no ocupándome de ella, pero no he podido rehusarme a las insistencias de mi colega, el Sr. de LAVOISIER, quien pone en este trabajo común toda la amabilidad y toda la sagacidad que yo pueda desear. Además, como es muy rico, no

ahorra nada para dar a los experimentos la precisión que es indispensable en investigaciones tan delicadas..."

Laplace se ocupó de óptica en una "Memoria sobre los movimientos de la luz en los medios diáfanos", leída en 1808 e inspirada en los trabajos de WOLLASTON y de MALUS, y en el libro X de la "Mecánica celeste". Por estas obras vemos que Laplace fué uno de los últimos y más encarnizados enemigos de la teoría de las ondulaciones. En la memoria de 1808, estudió la doble refracción y llegó a los mismos resultados que HUYGHENS había alcanzado con la teoría de las ondulaciones, por medio de "fuerzas atractivas y repulsivas cuya acción no es sensible más que a distancias insensibles... así como NEWTON lo había demostrado para la ley de la refracción ordinaria..." y, extendiendo el estudio de estas fuerzas, estableció que todas las atracciones y repulsiones se reducen a una acción a distancia entre moléculas. Aplicó idéntico concepto a la capilaridad, a la elasticidad, a la conducción del calor (en que le permitió volver a establecer las ecuaciones descubiertas por FOURIER) y a la demostración del principio de las velocidades virtuales. (1) En el décimo libro de la "Mecánica celeste" Laplace estudió, siempre por la teoría de las emisiones, la refracción astronómica, la influencia de la humedad y de otras condiciones atmosféricas sobre la refracción. También estudió allí la influencia que puede tener la impulsión de la luz sobre los planetas, llegando a la conclusión que: "1º El Sol desde 2.000 años atrás no ha perdido las dos millonésimas partes de su substancia; 2º El efecto de la impulsión de la luz sobre la ecuación secular de la Luna es insensible" (2)

En este mismo estudio de la influencia de las condiciones atmosféricas sobre la refracción, Laplace estableció la fórmula hipsométrica que lleva su nombre. PASCAL, MARIOTTE, HALLEY, MARALDI (3) y CASSINI, D.

(1) ANDOYER, Ob. cit., pág. 141.
(2) ANDOYER, Ob. cit., pág. 150.
(3) JACOBO MARALDI (Niza 1665-París 1729), sobrino de D. CASSINI y su colaborador en el Observatorio de París.

BERNOULLI y otros físicos y astrónomos se habían interesado anteriormente en el problema de la determinación de la altura por el barómetro; pero no lograron establecer una fórmula exacta. Laplace estableció una fórmula general tan complicada que en la práctica se prefiere generalmente recurrir a fórmulas más cortas aunque menos aproximadas. Esta fórmula se expresa generalmente:

$$Z-Z_0=\left[18336 \log \frac{H_0}{H} -1{,}2843\,(T-T')\right]\left[1+2\,\frac{(t+t')}{1000}\right]$$

$$\times \left(1+0{,}0026 \cos. 2\lambda + \frac{Z+15926}{6366198}\right)\left(1+\frac{Z_0}{3183099}\right)$$

en que T y T' son las temperaturas del barómetro, t y t' las del aire en la estación Zo que sirve de referencia y en la estación Z cuya altura se quiere determinar, Ho y H las presiones barométricas en esas estaciones, λ la latitud del lugar.

CHAPPUIS y BERGET, (1) en el tratado de física del cual reproducimos el texto de la fórmula, agregan: "La complicacón de esta fórmula le da un falso aire de precisión por el cual no hay que dejarse engañar".

En 1806, en un suplemento al libro X de la "Mecánica celeste", y en 1807, en una memoria, Laplace estudió analíticamente la capilaridad, basándose en experimentos realizados a su pedido por HAUY y TREMERY; y la atribuyó, como la refracción, a una acción a distancia de las moléculas.

La capilaridad parece haber sido estudiada por primera vez por LEONARDO DE VINCI aunque PLATON conociera la propiedad de un hilo de lana de permitir el trasiego de un líquido; AGGIUNTI en Pisa, la volvió a observar a principo del siglo XVII; el jesuíta JUAN RHO hizo otro tanto en Milán, poco más tarde; pero PASCAL la ignoraba aún en su "Tratado del equilibrio de los líquidos"

(1) ALFONSO BERGET (n. Schlettstadt 1860), físico francés contemporáneo.

(1653). El primer estudio de la capilaridad es sin duda el de BORELLI (1655-1667); VOSS (1666) con su observación de la depresión del mercurio, MONTANARI (1667), GRIMALDI, BOYLE, DITTON, FABRI, HOOKE, JACOBO BERNOULLI se ocuparon del mismo fenómeno en el siglo XVII.

En el siglo XVIII, vemos que TAYLOR (1712) observó que el nivel del agua que se eleva entre dos láminas adopta la forma de una hipérbola; HAWKSBEE prosiguió sus observaciones en experimentos reproducidos por NEWTON; JURIN (1718) enunció la ley de la capilaridad ya conocida por BORELLI; CLAIRAUT en su "Teoría de la figura de la Tierra" (1743) estableció la primera teoría analítica de la capilaridad, teoría que coincidía en varios resultados con la de Laplace quien, sin embargo, la tildaba de "insignificante" y falsa en sus fundamentos; SEGNER (1752) introdujo el concepto de "tensión superficial" y emitió una teoría de la capilaridad en desacuerdo con la de Laplace, que concuerda más bien con estudios que YOUNG publicó al respecto, en 1805. (Véase YOUNG)

Según Laplace la capilaridad depende de la cohesión de las moléculas de la superficie del líquido, de la adhesión del líquido con las paredes del tubo o con las láminas; y de la relación entre esta adherencia y esta cohesión depende el ángulo del líquido con el tubo. El teorema fundamental de la teoría fué enunciado por Laplace en los siguientes términos: (1)

" En todas las leyes que vuelven insensible la atrac-
" ción a distancias sensibles, la acción de un cuerpo ter-
" minado por una superficie curva sobre un canal in-
" terior infinitamente estrecho, perpendicular a esta
" superficie en un punto cualquiera, es igual a la se-
" misuma de las acciones sobre el mismo canal de dos
" esferas que tendrían por radio el mayor y el menor

(1) ANDOYER, Ob. cit., pág. 153.

" de los radios osculadores de la superficie en aquel " punto".

La presión que la capa superficial de un líquido ejerce sobre este líquido, resultante de las fuerzas de cohesión que obran sobre las moléculas de esta superficie, ha sido calculada teóricamente por Laplace que dió la fórmula siguiente: (1)

$$P = K + \frac{H}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

en que P es la presión por unidad de superficie, K su magnitud para una superficie plana, H una constante característica del líquido y R_1 y R_2 los radios de curvatura de la superficie en dos secciones perpendiculares entre sí. $\frac{H}{2}$ representa aquí lo que se llama la "tensión superficial" del líquido.

GAUSS, por una teoría algo distinta, estableció una fórmula que da la cantidad de trabajo necesario para aumentar la superficie de un líquido en función de este valor $\frac{H}{2}$ y donde se establecía el parecido entre la tensión superficial y una membrana tensa que cubriera el líquido, como ya lo había imaginado SEGNER (1752). RUMFORD, sin hacer análisis, admitía la existencia de una membrana superficial en los líquidos; POISSON atribuía una densidad mayor a la superficie de los líquidos y aunque esta suposición confirmaba las deducciones matemáticas de Laplace, este sabio se opuso a la hipótesis de POISSON, lo cual originó una discusión bastante violenta (véase POISSON). Muchos otros sabios se han ocupado desde entonces de la tensión superficial, pero, a pesar de los trabajos originales de KIRCHHOFF, MOSSOTTI, LINK, VAN DER WAALS, HULSHOFF, DONNAN, BAKKER, STEFAN, DESAINS, FRANKENHEIM, HAGEN, DRAPER (2), QUINCKE, WOLFF y de VAN DE

(1) Véase CHWOLSON, t. II, pág. 184; HOEFER, pág. 29.
(2) CHWOLSON, t. II, pág. 186-7.

MENSBRUGGHE, quien recordó todos los trabajos importantes sobre esta cuestión en el siglo XIX en el Congreso de Física de París de 1900, no se puede considerar a la tensión superficial más que como lo hicieron Laplace y GAUSS o sea como una resultante de la cohesión molecular del líquido, pues la analogía entre la tensión superficial y una membrana elástica, indiscutible en ciertos casos, no puede ser generalizada sin traer en cada caso nuevas pruebas científicas (1).

En 1823, en el libro XII del quinto y último volumen de la "Mecánica Celeste", Laplace trata "De la atracción y de la repulsión de las esferas y de las leyes del equilibrio y del movimiento de los flúidos elásticos". En esta obra, considera insensible la atracción entre las moléculas de un gas o de un vapor a causa de su distancia y establece que la repulsión entre ellas no les es propia sino que es debida a la repulsión de las moléculas del calórico mantenido en el gas por su atracción molecular, lo que explicaría por qué todo aumento de temperatura de un gas significa el aumento de su repulsión molecular (2). Aplicó este concepto sobre los gases, al estudio de la velocidad del sonido, para la cual NEWTON había establecido la célebre fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{p}{\delta}} = \sqrt{\frac{pg}{D}}$$

en que V es la velocidad de propagación del sonido, p la presión del gas, δ su masa, D su densidad y g la aceleración de la gravedad. Hemos visto que esta fórmula daba resultados inferiores a la realidad y Laplace atribuyó este error al hecho de que NEWTON estudiaba la propagación de las vibraciones sonoras consideradas como isotérmicas mientras deben considerarse como adiabáticas (3). Toman-

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 186-7.
(2) ANDOYER, Ob. cit., pág. 155-7.
(3) CHWOLSON, t. III, pág. 31 y 66.

do en cuenta esta causa de error y considerando entonces que las compresiones y dilataciones del gas van acompañadas de cambios de temperatura que aumentan su resorte, Laplace estableció que "La velocidad del sonido es igual al producto de la velocidad que da la fórmula newtoniana por la raíz cuadrada de la relación entre los calores específicos bajo un volumen constante.". Esta ley, que Laplace ya había publicado en los "Anales de Física y Química" en 1816, se expresa del modo siguiente en la clásica fórmula que lleva su nombre:

$$V = \sqrt{K \frac{p}{\delta}} = \sqrt{\frac{p. g. K}{D}}$$

en que K es la relación entre los calores específicos del gas a presión constante y a volumen constante $(K = \frac{c.\,p.}{c.\,v.})$ La raíz cuadrada de esta relación es, para el aire, igual a 1.187 y, como hemos visto que la fórmula de NEWTON daba 280 m/s como velocidad del sonido en el aire, la fórmula de Laplace dará:

$$280 \times 1.187 = 333.4 \text{ m/s}$$

lo que está muy de acuerdo con la realidad.

Esta relación entre $K = \frac{c.\,p}{c.\,v}$ y la velocidad del sonido en un gas, establecida por Laplace, ha sido utilizada por GAY-LUSSAC y DULONG en sus determinaciones experimentales sobre calores específicos, por POISSON en el estudio teórico del mismo asunto y también por ROBERTO MAYER en sus investigaciones sobre el equivalente mecánico del calor en su trascendental obra de termodinámica.

En el campo de la acústica debemos recordar aún que: En 1817, Laplace desarrolló la teoría de las vibraciones longitudinales tomando como base la misma fórmula newtoniana a la cual acabamos de referirnos y, aquí también POISSON realizó casi simultáneamente (1819) estudios

similares. En 1821, Laplace estudió detenidamente el problema de la propagación de las ondas sonoras en un medio líquido, siguiendo en este estudio a POISSON que se ocupó de la misma cuestión en 1818, siendo anteriores ambos estudios a la célebre experiencia de COLLADON y STURM (1828) de la determinación de la velocidad de los sonidos propagados en los líquidos. Y es de observarse que Laplace hizo sus primeras publicaciones sobre la teoría de las ondas en 1779 o sea simultáneamente con EULER, cuarenta años después de los célebres estudios de DANIEL BERNOULLI (1738) y poco antes de LAGRANGE (1781 y 1787); pero ni Laplace, ni EULER dieron una solución determinada al problema general, solución o teoría general que LAGRANGE consideraba imposible establecer, aunque haya logrado obtenerla en casos particulares.

Recordemos aún que, como lo hemos visto ya, la obra amplificadora de Laplace en el estudio de la teoría del potencial se encuentra colocada cronológicamente entre la obra de los fundadores de esta teoría, EULER y sobre todo LAGRANGE, y la obra de GAUSS que le dió su máxima amplitud.

Los datos que acabamos de reunir, acerca de la obra física de Laplace, comprueban la opinión de FOURIER de que este geómetra fué también un gran físico, por más que se pueda lamentar que haya conservado su fe en el calórico material, en la teoría de las emisiones y sobre todo en el concepto de la "acción a distancia" que, desde NEWTON hasta FARADAY, ha sido tan nefasto a los progresos de la Física. También puede criticarse en la obra de Laplace la excesiva importancia concedida a la intuición, y sobre todo la falta de las necesarias transformaciones matemáticas que apoyen las conclusiones así alcanzadas; pero, como lo ha dicho BERTRAND en su obra histórica sobre la Academia de Ciencias:

"La obra de Laplace como geómetra, es inmensa;
" ha tocado los puntos más difíciles y se ha apode-

"rado fuertemente de todos los fenómenos y las cues-
"tiones en apariencia más rebeldes, para someterlos
"al análisis.

"...Cuando un problema está planteado, anhela
"su solución aunque tuviera que arrancarla con las
"uñas y los dientes..."

RÜMFORD (B. THOMPSON)
(1753-1814)

Fotómetro. Lámpara. Dilatación del agua. Calor movimiento. El experimento de Munich. Primera noción del equivalente mecánico del calor.

BENJAMIN THOMPSON nació en Woburn (Estado de Massachusets, E.U.A.) en 1753 y murió en Auteuil, cerca de París, en 1814.

Americano por nacimiento e inglés de origen, en la guerra de independencia permaneció fiel a la madre patria; entró en el ejército real, y, en 1776, el general inglés Tomas Gage, gobernador de Massachusets, lo encargó de una misión a Inglaterra, donde el Ministro de Colonias lo hizo nombrar teniente coronel del cuerpo de Dragones. Antes de ejercer el oficio de las armas, Thompson había sido maestro de escuela, pero había dejado esa ocupación después de su casamiento con una viuda rica de quien enviudó a su vez a los pocos años, quedando bastante adinerado como para poder dedicarse libremente al estudio de las ciencias, que siempre había cultivado. En 1779, fué nombrado miembro de la Sociedad Real de Londres, luego volvió a América para continuar la guerra y regresó a Inglaterra con la paz de 1783. Tuvo entonces la intención de entrar en el ejército austríaco para participar en la guerra contra Turquía, pero entró al servicio del Elector de Baviera, a quien conoció en Estrasburgo y que lo elevó a los más honrosos cargos;

fué Ministro de la Guerra, Teniente General del Ejército y "Conde de Rumford" desde 1790. Durante quince años ejerció una poderosa influencia sobre el gobierno de Baviera y su actuación honesta, generosa y enérgica queda como un feliz recuerdo en la historia de aquel país.

Los altos cargos del Conde de Rumford no lo apartaron de sus ocupaciones científicas sino que, bien al contrario, lo hicieron volver a ellas. Para combatir la mendicidad en Baviera, instaló una "Casa de Industrias" donde los pobres, abandonando su vida vagabunda, encontraban abrigo y trabajo, resultando, además, aquel establecimiento de grandes beneficios para el país. En ese asilo modelo, Rumford puso sus conocimientos científicos al servicio de su obra y para instalar en él un alumbrado y una calefacción perfectos, se especializó en el estudio del calor y de la luz.

A la muerte del Elector Carlos Teodoro, en 1799, Rumford volvió a Inglaterra, donde fundó con BANKS, la "Institución Real", que pronto se volvió una gran academia científica. En 1803, se estableció en Francia donde había sido nombrado corresponsal del Instituto; allí conoció a María Ana Paulze, viuda de LAVOISIER, cuyo salón frecuentó en compañía de LAGRANGE, LAPLACE, BERTHOLLET, CUVIER, PRONY, HUMBOLDT, ARAGO y otros grandes sabios (1).

Su bondad, su elevada cultura, el afecto de sus colegas, agradaron a la viuda de LAVOISIER, quien se casó con él en 1805, "feliz de ofrecer a un hombre distinguido una gran fortuna y la más agradable existencia". Pero después de cuatro años de desacuerdo, Rumford se separó de su mujer, que insistía en querer ostentar conjuntamente los apellidos de sus dos sabios esposos haciéndose llamar "señora de Lavoisier-Rumford".

Hasta su muerte, en 1836, esta inteligente mujer siguió viviendo rodeada de las más destacadas figuras del

---

(1) GAY, "Lectures scientifiques", pág. 486 (citación de la "Noticia sobre la Señora Lavoisier de Rumford", por GUIZOT).

ambiente científico francés; Rumford se retiró a Auteuil, donde murió en 1814.

Rumford se ocupó principalmente del estudio de la luz y del calor.

En óptica, sólo recordaremos el fotómetro (1) y la lámpara que llevan su nombre (2). El fotómetro de Rum-



RUMFORD (B. THOMPSON)

ford, cuya descripción se encuentra en los textos de física, no es sino un modelo muy simplificado del dispositivo imaginado por dicho sabio. Este dispositivo consistía en una cámara obscura que encerraba la pantalla de papel blanco en la cual se proyectaban las sombras de dos cilindros negros sobre los cuales caían dos rayos luminosos dirigidos

(1) GANOT, pág. 422; CHWOLSON, t. IV, pág. 245.
(2) Léase la historia del alumbrado en "Les Merveilles de la Science" de FIGUIER, t. IV, pág. 256 y siguientes.

por tubos inclinados a 60°, y esas sombras se observaban por medio de una abertura perpendicular a la pantalla. El aparato estaba provisto además, de un dispositivo especial para regular la anchura de la sombra y la dirección de los rayos luminosos.

Fué con el fin de establecer una unidad luminosa en fotometría que Rumford construyó su lámpara.

Esta lámpara, que es un ingenioso perfeccionamiento de la de ARGAND (1), consta de varias mechas concéntricas, pero Rumford no pudo eludir el inconveniente de la carbonización de las mechas que ARAGO y FRESNEL lograron evitar aplicando las mechas de Rumford a la lámpara CARCEL (2).

Más interesante es la parte de la obra de Rumford que se relaciona con el calor y cuyos principales puntos se encuentran relatados en su "Memoria sobre el calor" (1804) y su "Memoria sobre la combustión" (1812).

Estudió la dilatación irregular del agua, cuestión iniciada con el descubrimiento de la irregularidad por la Academia del Cimento, y que mereció especial atención de par-

---

(1) ARMANDO ARGAND (Ginebra 1750-1803) era hijo de un relojero y fué discípulo de SAUSSURE en Suiza y de LAVOISIER y FOURCROY en París. En 1870, se hizo conocer por un valioso sistema de destilación del vino, que le valió ser condecorado por Luis XV. Poco después inventó su lámpara de doble corriente de aire y tubo de vidrio, que revolucionó al arte del alumbrado ,y no pudiendo patentarla en Francia, lo hizo en Inglaterra en 1873. Vuelto a París, un ferretero, Quinquet, y un almacenero, Lange, le robaron el secreto y presentaron el invento como suyo a la Academia y al público durante una ausencia de Argand, quien no tuvo más remedio que asociarse con ellos para poder cobrar parte de los derechos de invento. Durante la Revolución todos los inventos cayeron al dominio público y el pobre Argand, vencido por estas desgracias y otras de orden familiar, se retiró a Ginebra donde se dedicó a las ciencias ocultas. La injusticia persiguió la memoria del pobre sabio, pues fué con el nombre de "Quinquet" y no con el de Argand que se acostumbró designar la lámpara por él inventada.

(2) GUILLERMO CARCEL (París 1750-1812), relojero parisiense, agregó en 1800 a la lámpara de ARGAND una pequeña bomba accionada por un movimiento de relojería y que mantenía en la mecha una cantidad constante de aceite. La lámpara de Cárcel tuvo gran éxito en la Restauración, cuando el nuevo régimen devolvió la paz y el lujo a Francia... Pero el pobre inventor había muerto tres años antes.

te de los físicos del siglo XIX y entre ellos HOPE (1), HALLSTROM, Rumford y sobre todo DESPRETZ, quienes llegaron a los mejores resultados.

HOPE y Rumford siguieron métodos parecidos, pues ambos observaban por medio de termómetros convenientemente colocados, la temperatura de la parte de agua que, por tener mayor densidad, ocupa el fondo de un recipiente (2).

Rumford probó la imponderabilidad del calórico; demostró que el calor radiante se propaga en el vacío (3) y no necesita del aire como generalmente se creía; inventó un termómetro o más bien un termoscopio diferencial parecido al termoscopio empleado en la misma época por LESLIE (4), que también realizaba importantes estudios sobre el calor y su propagación. Por el método de la columna, Rumford estudió la conductibilidad calorífica de los líquidos y creyó poder deducir de sus experimentos que el agua es absolutamente inconductible para el calor; este error fué corregido muy pronto por físicos como MURRAY (5), NICHOLSON y PICTET.

(1) TOMAS C. HOPE (Edimburgo 1766-1844), químico inglés, profesor en Glasgow.

(2) CHWOLSON, t. VI, págs. 124-139; GANOT, pág. 219.

(3) GANOT, pág. 519.

(4) JUAN LESLIE (Largo, Escocia, 1766-Edimburgo 1832) utilizó el conocido termómetro diferencial que lleva injustamente su nombre, para estudiar las leyes del calor radiante y los poderes emisivo, reflector y absorbente de los cuerpos. Sus predecesores en este invento son VAN HELMONT que había imaginado un termoscopio de idéntico principio y STURM que le dió el dispositivo que se atribuye a Leslie. Leslie extendió la ley de LAMBERT al calor radiante y para su demostración empleó un ingenioso dispositivo: la fuente de calor era un vaso metálico lleno de agua hirviendo y que se podía inclinar a voluntad; el calor era recibido por un espejo cóncavo en cuyo foco se colocaba una de las esferas del termómetro diferencial. Leslie fué el inventor del depósito metálico empleado como cuerpo emisor de calor radiante y por esto se le llama "cubo de Leslie". RUMFORD y Leslie son importantes predecesores de los NOBILI, KNOBLAUCH, TYNDALL, MASSON, DE LA PROVOSTAYE, DESAINS y el célebre MELLONI. Leslie ideó el psicrómetro; construyó un higrómetro e imaginó un método de fabricación de hielo artificial por medio del vacío, que tuvo mucha fama en su tiempo; se ocupó de química y de matemáticas; fué profesor de la Universidad de Edimburgo y el rey Jorge IV le dió título de nobleza en 1822.

(5) JUAN MURRAY (Edimburgo 1778-1820), químico escocés.

Rumford también estudió la calefacción y otros problemas domésticos e industriales relacionados con el calor y la luz; pero el principal título de este sabio, es el de haber sido precursor de la termodinámica por varios de los conceptos que emitió y por algunos experimentos. En efecto, Rumford consideraba el calor como un movimiento transformable en fuerza mecánica, y, en 1798, realizó su célebre experimento (1) de la fundición de Munich, que consistía en taladrar bajo agua un cilindro de metal, lográndose así elevar al punto de ebullición 26 libras de agua, en dos horas y media. Este experimento de Rumford le hizo pensar que se podría establecer una relación entre el trabajo producido por el caballo que hacía funcionar el taladro y el calor correspondiente a ese trabajo; le hizo emitir pues la primera idea del "equivalente mecánico", idea que puede ser considerada como el punto de partida de la termodinámica y sobre todo de su primer principio.

FULTON
(1765-1815)

Navegación a vapor.

ROBERTO FULTON, nació en Little-Britain en Pensilvania (Estados Unidos) en 1765 y murió en 1815. Hijo de pobres emigrados irlandeses, huérfano de padre desde los tres años, tuvo que buscar empleo, mucho antes de poder adquirir una educación completa. Trabajó en un taller de joyero en Filadelfia, pero creía tener especial vocación para la pintura. Después de pocos años, pudo ahorrar lo suficiente para comprar una pequeña granja; obsequió con ella a su madre y se fué a Londres a perfeccionarse en el arte pictórico. Este ensayo no debió satisfacerlo pues renunció a la pintura y resolvió dedicarse a la mecánica.

---

(1) GANOT, pág. 318.

La aplicación del vapor a la navegación fué el problema que atrajo mayormente su atención y, pocos años después, le dió una hermosa solución. Eran muchos los que se ocupaban en su tiempo de la navegación a vapor; la superioridad de Fulton no consiste pues en haber tenido una idea original o genial sino en haber sido el primero en presentar un buque que diera resultados prácticos.

Hemos hablado anteriormente de los derechos que pueden tener BLASCO DE GARAY y PAPIN al invento de la navegación a vapor y citaremos a algunos otros precursores de Fulton: En 1736, o sea treinta años después del ensayo de PAPIN, el inglés HULLS proyectó un remolcador a vapor que describió con suma claridad y exactitud. pero que no se sabe si fué construído o no. En 1763, el americano GUILLERMO HENRY, que conoció a Fulton y le inspiró probablemente sus primeras ideas sobre la navegación a vapor, construyó un pequeño buque con ruedas de paletas accionadas por una máquina de WATT, pero en las primeras pruebas tuvo la desgracia de ver su máquina irse a pique. No tuvo más suerte el Conde D'AUXIRON (1) que había obtenido del rey de Francia, el monopolio de la navegación a vapor sobre todos los ríos del reino, y que construyó en 1774 un barco que se hundió una noche, antes de haber sido probado. En 1783, el marqués de JOUFFROY, amigo y socio de AUXIRON en esa empresa, construyó otro barco de un modelo distinto y realizó en Lyon, ensayos muy satisfactorios que demostraban claramente que se trataba de un invento práctico, pero la Academia de Ciencias no apoyó la idea del inventor, que abandonó su proyecto por falta de capital. En 1786, el americano RUMSEY llegó también a terminar un modelo de buque de vapor que dió buenos resultados pues marchaba contra la corriente de un río a una velocidad de seis kilómetros por hora. El sistema que empleaba, se diferenciaba de los anteriores, de ruedas de paletas, pues consistía en ha-

(1) CLAUDIO J. F. AUXIRON (1728-1778). economista e ingeniero francés, estudió, además de la navegación a vapor, la purificación del agua corriente.

cer salir del barco, por medio de una bomba de vapor, un fuerte chorro de agua, dentro del agua misma, a fin de aprovechar la fuerza de reacción. De 1785 a 1790, otro americano, JUAN FITCH (1), realizó numerosos experimentos y logró construir un barco de pasajeros, con caldera y condensador tubulares, que marchó con toda regularidad a una velocidad de once kilómetros por hora. Este franco éxito no proporcionó sin embargo mucha gloria a FITCH, quien luchó en vano para obtener ayuda en América, Inglaterra y Francia y murió en la pobreza, casi ignorado, porque según sus propias palabras, "nadie quiso creer que el pobre JUAN FITCH fuera capaz de hacer algo digno de atención". Después de FITCH, y hasta Fulton, son dignos de citarse aún muchas otras tentativas de las cuales varias dieron halagüeños resultados, como las de SYMMINGTON, MILLER (2) y TAYLOR en Inglaterra y las de STEVENS, LIVINGSTON, MOREY (3), ROOSEVELT y ORMSBEE en Norte América.

Fué en 1797, en París, que Fulton realizó sus ensayos de torpedos submarinos y buques torpedos, que causaron en Inglaterra un verdadero pánico, pues se temía que vendiera su patente a Napoleón, y que éste pudiera servirse así, de un arma poderosa contra la flota británica. Su gran preocupación era la navegación a vapor y, en 1803, mientras DALLERY (4) fracasaba en idéntico proyecto, Fulton construyó un modelo de barco de ruedas de paletas laterales, en que había aplicado perfeccionamientos que eran el resultado de metódicos experimentos sobre la resistencia del

---

(1) JUAN FITCH (Connecticut 1743-Bardstown 1798), mecánico norteamericano de modesto origen y de educación elemental.

(2) MILLER (Glasgow 1731-1815), inventor escocés.

(3) SAMUEL MOREY (Hebron 1762-1843), inventor norteamericano.

(4) TOMAS DALLERY (1754-1835) realizó en 1803 experimentos de navegación a vapor con hélice. Gastó su fortuna en estos experimentos; el Gobierno rehusó ayudarle y el pobre inventor rompió su patente y destruyó su invento. Diez años después de su muerte, la Academia de Ciencias reconoció sus derechos a la aplicación de la hélice a la navegación de vapor y también al invento de la caldera tubular en que se hacía circular el agua en los tubos, mientras que SEGUIN hacía pasar en ellos los productos gaseosos de la combustión.

agua, la forma de la quilla y la fuerza motriz necesaria. A fines del mismo año, construyó un barco que hizo muchos viajes en el Sena a una velocidad de unos seis kilómetros por hora.

Fulton pidió, en vano, recursos a Bonaparte que no se dejó convencer de la utilidad del invento y rechazó todas las solicitudes. El inventor no perseveró menos por esto en su proyecto. En 1807, de vuelta a su patria, construyó, con la ayuda de LIVINGSTON, el más grande buque de vapor que se conocía en la época, el "Clermont" que fué botado en Nueva York y realizó enseguida un viaje de casi quinientos kilómetros, a una velocidad media de ocho kilómetros por hora.

Este era, pues, el primer resultado práctico de las numerosas tentativas que se habían realizado para llegar a la navegación a vapor, y, desde entonces, Fulton dedicó todo el resto de su vida al perfeccionamiento de los barcos de vapor.

NIEPCE
(1765-1833)

Sus inventos. La fotografía.

Con la biografía de JOSE NICEFORO NIEPCE, nacido en Chalons sobre Saona en 1765 y muerto en la misma ciudad en 1833, iniciamos el estudio de la historia de la fotografía.

Niepce pertenecía a una familia rica que había contado a varios distinguidos magistrados y funcionarios entre sus miembros, siendo su padre, Claudio Niepce, Caballero y Perceptor General de Impuestos en Chalons. José Nicéforo pasó ·cciosamente su juventud en la casa paterna hasta que, en 1792, entró en la infantería con el grado de subteniente; fué a Cerdeña, hizo la campaña de Cagliari (1793), pasó al ejército de Italia y formó parte del estado mayor del general Frottier (1794).

Una enfermedad contagiosa que contrajo en el ejército, le afectó la vista y lo obligó a abandonar la carrera militar. Fué nombrado entonces administrador del distrito de Niza, donde se casó y formó su hogar. Allí recibió la visita de su hermano mayor, CLAUDIO, quien también se había retirado del ejército. Claudio era ingenioso, emprendedor y lleno de ambición; indujo a José a trabajar con él y los dos hermanos inventaron un "pireolóforo" o máquina de aire caliente de principio parecido al de la máquina de vapor.

En 1807, volvieron a establecerse en la casa paterna en Chalons y continuaron sus estudios. Imaginaron una nueva bomba hidrostática, que mereció la aprobación de LAZARO CARNOT. De 1813 a 1816, se ocuparon del cultivo de la "hierba pastel" (Isatis tinctorial) con el fin de extraer su tintura y crear así una industria nueva en Francia en el momento propicio del bloqueo continental. Pero las actividades de los hermanos Niepce no fueron recompensados, los beneficios eran insignificantes y su fama de inventores no se imponía. En 1816, Claudio trató de imponer sus inventos en París, pero fracasó y fué a instalarse en Inglaterra donde su suerte no fué mejor.

En el mismo año de 1816, Nicéforo Niepce empezó a realizar una idea que desde varios años atrás lo tentaba: la impresión directa de las imágenes de la cámara obscura.

Decir que esta idea era absolutamente nueva sería desconocer a muchos predecesores de Niepce y no agregaría nada a su merecido título de "fundador de la fotografía". Entre esos predecesores podríamos citar especialmente a VINCI o a PORTA como inventores o utilizadores de la cámara obscura, a SCHEELE (1781) por haber estudiado la acción de la luz sobre el nitrato de plata, a CHARLES que colocaba un papel cubierto de cloruro de plata en el fondo de la cámara obscura y obtenía curiosas siluetas, a WEDGWOOD, a WATT y a DAVY quienes también se ocuparon de la fijación de las imágenes; pero ninguno de ellos previó con claridad la posibilidad de la fotografía y su importancia. También podríamos citar aquí a SENEFEL-

DER (1), el inventor de la litografía, pues es la litografía la que puso a Niepce en el camino de su descubrimiento.

En aquella época, la litografía estaba de moda, y Niepce, como muchos otros, se interesó en ella. Primero reemplazó la piedra por una lámina de estaño y luego pensó en fijar las imágenes en esas láminas por medio de la acción química de la luz. Sería demasiado largo seguir a Niepce en todos los ensayos más o menos fructuosos que realizó en secreto, de 1816 a 1829, y que son además incompletamente conocidos (2).

Lo que debe recordarse es el principio de su método definitivo: Se cubre una lámina metálica con betún de Judea y se coloca en el fondo de la cámara obscura. La luz oxida el betún, que se vuelve insoluble a la esencia de aluzema, de modo que las partes atacadas por la luz conservan el color blanco del betún de Judea oxidado, mientras que las partes no atacadas por la luz toman el color de la lámina. Si se somete entonces esta primitiva fotografía a la acción de un ácido, este atacará las partes desprovistas de betún y se obtendrá un clisé de "heliografía".

El defecto principal del procedimiento de Niepce era el larguísimo tiempo de exposición; su indispensable perfeccionamiento fué obtenido por DAGUERRE, quien desde 1829, era colaborador de Niepce, quien murió antes de poder ver en la "daguerreotipía" el coronamiento de sus esfuerzos. (Véase Daguerre).

---

(1) ALOIS SENEFELDER (Praga 1771-Munich 1834), escritor alemán e inventor de la litografía.

(2) Léase en "Les Merveilles de la Science" de FIGUIER, t. III, págs. 1-188, una interesante historia de la fotografía.

DALTON
(1766-1844)

Dilatación de los gases. Calor específico de los gases. Tensión máxima del vapor de agua. Velocidad de evaporación.

JUAN DALTON, casi tan célebre en física como en química, nació en Eaglesfield (Cumberland) en 1766 y murió en Mánchester en 1844.

Hijo de un pastor cuákero, recibió una buena educación en su pueblo natal, donde ya se destacaba por su inteligencia.



DALTON

Sus primeros trabajos pertenecen a la meteorología y a las matemáticas (1), lo que nos explica por qué fué nombrado en 1793, profesor de matemáticas e historia natural en el Colegio de Mánchester. Abandonó este cargo en 1804, y empezó a viajar por toda Inglaterra, en verdadera misión de vulgarización científica. En 1817, fué nombrado presidente de la Sociedad Filosófica y Literaria de Mánchester; tres años más tarde, individuo de la Sociedad Real de

(1) "Observaciones de meteorología" y "Ensayos" (1793).

Londres y, poco después, miembro corresponsal del Instituto de Francia. Se agregaron todavía a esos títulos, los de socio de varias academias europeas, de doctor "honoris causa" de la Universidad de Oxford y en fin, el gobierno inglés, en recompensa de sus altos méritos, le otorgó una pensión especial en 1833.

Como hombre y como sabio, Dalton tenía cualidades de carácter que lo resguardaban del odio y de la envidia; modesto y servicial, cariñoso por naturaleza, pronto a disculpar los errores ajenos y en reconocer los suyos propios, religioso ferviente e imbuído de los principios igualitarios y humanos del cuakerismo, este hombre honesto no hizo despertar en su derredor más que amor y respeto.

En física, la influencia de Dalton se ha hecho sentir especialmente sobre el estudio de la dilatación de los gases, de su calor específico y de las tensiones máximas del vapor de agua.

Recordamos que la dilatación del aire era conocida por los antiguos, como lo demuestran los inventos de CTESIBIO y HERON; pero fué en el principio del siglo XIX que se inició el estudio sistemático del calor y especialmente de su importante capítulo de la dilatación de los gases.

AMONTONS (1702), ya había calculado que la dilatación del aire era de 0.380 de su volumen entre 0 y 100 grados; VOLTA afirmaba que el aire se dilata uniformemente de 0.363 por cien grados de aumento de temperatura; PRIESTLEY, LA HIRE, SAUSSURE, ROY, PRIEUR (1) hicieron determinaciones más o menos concordantes. PRIEUR había llegado al convencimiento de que cada gas sigue una ley especial en su expansión, mientras que LAPLACE tuvo la intuición de la inexactitud de esta afirmación.

---

(1) PRIEUR (Ausonne 1763-Dijón 1832), matemático y político francés, colaboró con CARNOT en la organización de la defensa. Se ocupó del establecimiento del sistema de pesas y medidas.

GAY-LUSSAC y Dalton, en experimentos completamente independientes, que realizaron en los primeros años del siglo XIX (1801-1807), llegaron a explicar la causa de las diferencias entre los resultados obtenidos por los distintos experimentadores, atribuyendo esas variaciones de la dilatación de los gases a la presencia de vapor de agua. DALTON observó que de cero a cien grados, el aire, libre de todo vapor de agua, se dilata de 0.392 de su volumen a cero grado, y esta observación fué hecha poco antes que GAY-LUSSAC estableciera sus tres célebres leyes sobre dilatación de los gases.

DALTON admitía además que, para los gases permanentes, la dilatación aumenta en progresión geométrica cuando la temperatura crece en progresión aritmética, siempre que estos gases se encuentren muy lejos de su punto de condensación. Esta idea se diferencia fundamentalmente de la de GAY-LUSSAC, pues Dalton consideraba que para un grado de aumento de temperatura el gas se dilata de una fracción constante del volumen que tenía a la temperatura inmediatamente anterior y no del volumen que tenía a cero grado; de este modo, el cero absoluto (cuyo nombre y cuya noción fueron introducidos por Dalton en 1802) ya no sería como para GAY-LUSSAC, el límite de la contracción de un gas perfecto... si gas perfecto hubiera en esa temperatura.

Hasta Dalton, se admitió generalmente la teoría de LEROY (1) sobre la formación del vapor y su mezcla con el aire, que consistía en considerar el aire como el disolvente de los líquidos como lo son éstos para muchos cuerpos sólidos y en aplicar a la vaporización las leyes de la disolución. Dalton estableció en 1803, que el aire no tiene acción de disolvente en la vaporización, pues los vapores se distribuyen exactamente de la misma manera en el vacío, lo que puede expresarse: "La tensión de un vapor saturado en un espacio que contiene un gas indiferente, es la misma que

(1) PEDRO LEROY (París 1717-1785), hijo de JULIAN y, como él, relojero, defendió el uso de los pararrayos en Francia; propuso en 1771, el uso del punto de rocío en higrometría.

en el vacío". Esta ley generalizada a la mezcla de gases, es llamada "ley de Dalton" y se expresa: "La presión de una mezcla de varios gases indiferentes es igual a la suma de las presiones que ejercería cada uno de ellos, si ocupara él solo todo el volumen ocupado por la mezcla". (1)

La ley de Dalton no es rigurosamente exacta, y trabajos de REGNAULT, ANDREWS y CAILLETET demuestran que si es exacta a presiones de una o dos atmósferas, no es sino aproximada para presiones elevadas. Recordemos al respecto que fué VOLTA quien hizo, en 1790, la primera experiencia de difusión de los gases. (Véase VOLTA).

Todos los textos de física elemental explican los métodos de medición de la tensión de los vapores saturantes y sobre todo del vapor de agua y entre ellos uno de los principales es indiscutiblemente el de Dalton (2). Las primeras determinaciones de esta tensión, parecen haber sido realizadas por ZIEGLER (1759); luego se recuerdan las medidas realizadas por BETANCOURT (1792), G. C. SCHMIDT (1798), WATT (1814), SOUTHERN, URE (1818), ARZBERGER, CHRISTIAN (3), GAY-LUSSAC y, después de Dalton, las de DESPRETZ (1822), DULONG y ARAGO (1830), REGNAULT (1843), MAGNUS (1843), PLUCKER (1854), etc., que estudiaremos a su debido tiempo.

Con el método de los dos barómetros completamente rodeados de agua, empleado ya por SCHMIDT, Dalton observó que los vapores de diversos líquidos tienen tensiones iguales a temperaturas igualmente distantes de sus respectivos puntos de ebullición. URE (1818) demostró el error de esta ley y REGNAULT dió la fórmula aclaratoria (1854-1860). Dalton fué el primero en estudiar las causas de variación de la velocidad de evaporación de los líquidos (4) y comprobó que esta velocidad es proporcional a la superficie

(1) CHWOLSON, t. II, págs, 78 y 101; GANOT, pág. 152.
(2) GANOT, pág. 248: CHWOLSON, t. VIII, pág. 12.
(3) GERARDO CHRISTIAN (Verviers 1776-París 1833), físico y economista belga.
(4) GANOT, pág. 252.

libre del líquido, a la diferencia entre la tensión del gas ambiente y la tensión del vapor saturante, a la temperatura en que se produce la evaporación, y que es inversamente proporcional a la tensión del gas ambiente.

Reconoció también que esta ley no puede ser completa, pues factores no previstos en ella, como el movimiento del gas ambiente, por ejemplo, influyen considerablemente sobre la velocidad de vaporización.

En química, Dalton dió la base de la teoría atómica que fué generalmente admitida en el siglo XIX en su "Nuevo Sistema de Filosofía Química" (1808-1810 y 1827); y comprendió en ella las leyes anteriormente establecidas. Dió una explicación de la composición de los cuerpos que, aunque insuficiente, fué adoptada y luego perfeccionada por los más grandes químicos. Se suman todavía a esta valiosa obra importantes observaciones de meteorología, así como el estudio de la enfermedad de la vista que lleva su nombre y cuyos síntomas son la confusión de colores similares, enfermedad de la cual estaba afectado Dalton. (1) Agreguemos, en fin, que Dalton también fué filólogo y escribió una gramática inglesa de reconocido valor.

WOLLASTON
(1766-1828)

Pila de Wollaston. Su estudio del espectro: descubrimiento de los rayos ultravioletas. Método de cálculo del índice de refracción. Descubrimiento de las rayas negras del espectro (rayas de Fraunhofer). Cámara clara. Goniómetro de reflexión. Estudio de doble refracción. Partidario de la teoría de las ondulaciones. Crióscopo.

GUILLERMO HYDE WOLLASTON nació en Londres en 1766 y murió en la misma ciudad en 1828.

(1) GANOT, pág. 488. Esta enfermedad había sido ya mencionada por otros autores y, entre ellos, TUBERVILLE DE SALISBURY (1684), HUDDERT (1777), VON GENTILLY (1785).

Se doctoró en medicina en la Universidad de Cambridge (1793) y ejerció su profesión en un pueblo de campaña y luego en el Hospital de San Jorge, pero lo hizo sin entusiasmo y sin éxito. Después de pocos años, se dedicó exclusivamente al estudio experimental de la física y de la química y prometió no escribir una sola receta más en toda su vida.

Las teorías poco le interesaban y prefería la ciencia experimental y sus aplicaciones industriales, en las cuales realizó numerosos inventos y descubrimientos que lo enriquecieron y le dieron fama, sobre todo en Inglaterra donde tanto se admira a los sabios de espíritu práctico.

Wollaston pertenecía a la Sociedad Real de Londres de la que fué secretario (1806) y presidente (1820), a la Sociedad de Geología y a varias otras academias europeas; sus compatriotas le dieron el sobrenombre de "el Papa" porque lo consideraban infalible.

Sus principales rasgos de carácter eran la originalidad, la generosidad y el espíritu práctico, que quedan evidenciados en el siguiente episodio: Un amigo de Wollaston se había arruinado; le rogó valerse de su influencia para conseguirle una cierta ayuda del gobierno; Wollaston estudió el caso como si se planteara un problema científico, pensó en cuántas personas tendría que ver, cuánto tiempo tendría que distraer de sus estudios, cuáles eran las probabilidades de éxito y, después de este breve examen, contestó a su amigo que renunciaba a hacer esas diligencias, pero que le remitía una suma de diez mil libras.

En Física, el nombre de Wollaston se recuerda especialmente por sus descubrimientos de electricidad y óptica.

En 1801, lo vemos perfeccionar la pila de VOLTA, estudiar su funcionamiento y descubrir los rayos ultravioletas; en 1802, imaginó un método nuevo para calcular el índice de refracción y descubrió las rayas negras del espectro; en 1804, inventó la cámara clara; en 1809, el goniómetro.

Wollaston fué uno de los primeros en interesarse en el invento de VOLTA y en estudiar las causas del funciona-

miento de la pila; y, como lo hemos visto al tratar de VOLTA, defendió la teoría química con tanto entusiasmo, que afirmaba que la reacción química es la única fuente de electricidad no sólo en las pilas sino también en las máquinas de frotamiento, y su principal argumento a favor de esta teoría era el haber observado que no se produce electricidad de frotamiento en medio del hidrógeno y que por consiguiente esta electricidad tiene por único origen la acción química del aire sobre los cuerpos frotados.

Perfeccionó la pila de VOLTA que, como la de CRUIKSHANK, tenía el defecto de ofrecer una sola cara del zinc al contacto del electrólito; en la "pila de Wollaston" (1) se evita este inconveniente doblando la chapa de cobre de modo que rodee, sin tocarla, la chapa de zinc, lográndose así aumentar su potencialidad. Esta pila ha sido perfeccionada por MUNCKE (2) de Estrasburgo y por el norteamericano HARE (3) en su "pila de hélice"; y, en 1807, DAVY construyó en el Instituto Real de Londres una enorme batería de dos mil pares de Wollaston con una superficie total de zinc y cobre de 80 metros cuadrados.

En el mismo año de 1801, y casi simultáneamente con RITTER (véase), BERARD (4) y SEEBECK (véase), Wollaston reprodujo el experimento de SCHEELE para comparar la acción química de las distintas regiones del espectro; pero, más feliz que éste, descubrió que más allá del violado existe una región invisible cuya acción química queda comprobada con el ennegrecimiento del cloruro de plata. El descubrimiento de los rayos ultra-violetas se hizo, pues,

---

(1) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", pág. 681, tomo I.

(2) JORGE G. MUNCKE (Hillingsfeld 1772-1847), físico y químico alemán. (Véase FIGUIER), obra citada, tomo I, pág. 683). Estudió el estado esferoidal.

(3) ROBERTO HARE (Filadelfia (1781-1858), físico y químico. Inventó el calorimotor cuyo dispositivo fué aprovechado por PLANTE en el acumulador. (Véase FIGUIER, obra citada, tomo I, pág. 683).

(4) JACOBO ESTEBAN BERARD (Montpellier 1779-1869), químico francés, fué decano de la Facultad de Ciencias de Montpellier. En 1812, publicó su obra "Calor Específico de los Gases" y obtuvo con DELAROCHE en 1813 el premio de la Academia de Ciencias por su método de determinación del calor específico de los gases por el método de las mezclas.

pocos meses después del descubrimiento de los rayos infrarojos, por G. HERSCHEL (véase).

El método de Wollaston (1) para calcular el índice de refracción está fundado en la observación de la reflexión total interna y es, con el método de MALUS, uno de los más prácticos para determinar el índice de refracción de cuerpos opacos.

En el mismo año de 1802, en que Wollaston imaginó este método, hizo también el importante descubrimiento de las rayas negras del espectro (2). Observando el espectro formado por el método de NEWTON, o sea colocando el prisma longitudinalmente detrás de una rendija por la cual penetra un haz de luz, distinguió rayas negras paralelas dispuestas a distancias irregulares. Wollaston se limitó a la simple observación del hecho sin darle mayor importancia y sólo fué trece años más tarde que FRAUNHOFER (3) lo estudió con debida atención (1815).

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 28; véase la biografía de MALUS.

(2) GANOT, pág. 537; WATSON, pág. 452.

(3) JOSE FRAUNHOFER (Straubing, Baviera, 1787-Munich 1826). Hijo de un vidriero que lo dejó huérfano a los primeros años, fué aprendiz de una fábrica de vidrio, donde aprendió sus primeras letras al mismo tiempo que nociones de óptica. En 1801, la casa que habitaba se derrumbó y Fraunhofer, único sobreviviente de ese accidente, fué felicitado por Maximiliano José, rey de Baviera, quien lo protegió y le hizo estudiar las ciencias. Entró luego a trabajar en una fábrica de aparatos de precisión de la que se hizo propietario pocos años más tarde. Sus primeros trabajos pertenecen a la construcción de aparatos y a la fabricación de lentes y espejos; luego inventó un micrómetro filiar repetidor, un heliómetro, un microscopio acromático y el espectrofotómetro, primer aparato de determinación de la intensidad luminosa de las regiones del espectro. (CHWOLSON, t. IV, pág. 263). Estudió el espectro con atención, observó las rayas negras con un anteojo, las clasificó y dió en fin a este hecho la importancia que merecía y que WOLLASTON, su descubridor, no le supo dar; no es injusta, pues, la denominación de "rayas Fraunhofer". Deben recordarse también su método de determinación del índice de refracción por el prisma (CHWOLSON, t. IV, pág. 19) y su método original y el primero que permitiera medir la dispersión de las lentes para establecer sistemas acromáticos. (CHWOLSON, t. IV, pág. 195). Imaginó en fin un dispositivo especial para poder estudiar la difracción en la luz paralela, que ha abierto todo un nuevo campo de estudio y de experimentación. (CHWOLSON, t. V, pág. 35). Fraunhofer fué conservador de la Academia de Munich, ciudad en que había trasladado su fábrica (1819).

HOPPE, ("Historia de la Física", pág. 372), relata en la forma si-

En 1804, inventó la cámara clara que lleva aún su nombre y cuyo principio se debe probablemente a HOOKE. Este aparato tan apreciado por topógrafos y dibujantes, estaba formado, en el primer dispositivo adoptado po rWollaston, por dos espejos planos colocados en ángulo de 135º para que los rayos doblemente reflejados, fuesen perpendiculares a los rayos iniciales y que, de este modo, la imagen producida no cambiase de perspectiva. Wollaston reemplazó ese primer dispositivo de espejos por un prisma de sección cuadrangular, en que un ángulo es de 135º, con el fin que acabamos de indicar, el ángulo opuesto de 90º y los otros dos de 67º 30' cada uno.

En 1809, Wollaston inventó el goniómetro de reflexión de círculo vertical (1) que MITSCHERLICH perfeccionó (1827). Con este aparato que sirve, como bien se sabe, para medir los ángulos diedros de las caras de los prismas, Wollaston estudió la doble refracción, y sus conclusiones fueron favorables a la explicación de HUYGHENS. Era sumamente meritoria esta tentativa de Wollaston para implantar la olvidada teoría de las ondulaciones establecida por HUYGHENS en el "Tratado de la luz", pero no triunfó, pues el experimento de MALUS vino en aquel momento

---

guiente el descubrimiento al cual Fraunhofer debe su gloria:

"Fraunhofer estudiaba las lentes acromáticas y debía naturalmente medir su dispersión. Trató de volver acromáticas combinaciones de prismas y, a fin de hacer observaciones exactas, miraba a través del anteojo de un teodolito, pero la imprecisión de los rayos no le permitió hacer medida exacta alguna. Eligió entonces como fuente de luz una vela o una lámpara de aceite y encontró en el espectro una raya de color amarillo claro. Luego trató de encontrar la misma raya en el espectro solar, colocando la hendidura a una distancia de 24 pies del prisma para el cual había elegido la posición del mínimum. En lugar de la raya amarilla vió aparecer entonces un gran número de rayas negras, que denominó con las letras del alfabeto A, B, hasta Z, a, b, etc. (1817). De este modo, Fraunhofer poseía un medio seguro para medir el índice de refracción de esas rayas, cuya posición en el espectro demostró ser constante, en los diversos medios (1823). Reconoció que la franja amarilla aparecida con la luz de la lámpara coincidía exactamente con la raya D. Luego demostró que el espectro de Venus posee las mismas rayas que el espectro solar...".

(1) CHWOLSON, T. I., pág. 323.

a fortalecer la teoría newtoniana de la doble refracción. Poco faltaba, sin embargo, para el triunfo de la teoría de las ondulaciones.

El goniómetro de Wollaston que acabamos de mencionar sirvió de base a A. SEEBECK para la construcción del primer polariscopio (1830).

En 1814, Wollaston inventó el crióforo, aparato bien conocido por existir aún en todos los gabinetes y que demuestra la producción del frío por la vaporización. Como lo hemos visto ya en distintas oportunidades, sabemos que este fenómeno era conocido en la antigüedad, que los árabes lo utilizaban en los "botijos" y que CIGNA (1760) y DE MAIRAN fueron los primeros que lo estudiaron científicamente. Hemos visto también que, cuatro años antes de este invento de Wollaston, o sea en 1810, LESLIE (véase biografía) había imaginado un dispositivo eficaz para producción de frío.

Para completar este cuadro de los trabajos de Wollaston, recordaremos que su obra química es también importante y que en ella se destacan sus descubrimientos del paladio y del rodio (1804), su estudio de los procedimientos metalúrgicos del platino y su tabla de los equivalentes, anterior a la de BERZELIUS.

FOURIER
(1768-1830)

"Teoría analítica del calor". Ecuación de la propagación del calor. Ley de Lambert. Colaboración partes interiores del cuerpo en la propagación del calor.

JUAN BAUTISTA JOSE BARON DE FOURIER, nació en Auxerre en 1768 y murió en París en 1830.

No pertenecía a la nobleza de la sangre, como lo podría hacer creer lo retumbante de sus nombres y título, sino que era el hijo de un sastre de la pequeña ciudad francesa de

Auxerre. A los ocho años quedó huérfano y, por intermedio del obispo, fué recogido por el organista Pallais, quien, no limitándose a darle la hospitalidad, se preocupó activamente de su educación y lo hizo entrar en la escuela militar de Auxerre, dirigida por hermanos benedictinos. Fourier quiso seguir la carrera militar, pero su solicitud de ingreso a la Escuela de Artillería fué rechazada porque en esa escuela no sólo se exigía preparación sino también título de nobleza o, en su falta, riqueza. El huérfano no era ni noble ni rico y tuvo así que renunciar a sus proyectos; entró entonces en las órdenes y vistió durante dos años el hábito de benedictino, en la Abadía de San Benito, hasta que, en 1789, contagiado por el gran movimiento libertador, abandonó el monasterio con el consentimiento de sus superiores, que lo nombraron profesor de matemáticas de la escuela militar de Auxerre.

En ese mismo año, Fourier leyó en la Academia de Ciencias una memoria sobre la resolución de las ecuaciones numéricas de todos los grados que, si bien no era absolutamente original en su principio, era el resultado de una labor intensa y personal y la base de toda una carrera científica que ha abierto a la física y a las matemáticas, horizontes nuevos.

Revolucionario sincero, pero enemigo de los crueles abusos que se cometían, Fourier fué en Auxerre uno de los más activos defensores de las nuevas ideas, pero fué también durante el terror, el protector de los perseguidos, y se recuerda el nombre de la señora Davoust, madre de dos grandes figuras militares del Imperio, que debió su salvación al extraordinario valor del sabio.

En 1794, Fourier fué alumno y, poco después, maestro de conferencias de la Escuela Normal, de reciente fundación, donde tuvo como profesores, y luego como colegas, a LAPLACE, a LAGRANGE y a MONGE, haciéndolo nombrar este último, profesor de geometría analítica en la Escuela Politécnica e incluyéndolo en el cuerpo de sabios de la expedición a Egipto. A su vuelta de Egipto, donde fué amigo de KLEBER y fué nombrado secretario perpetuo del Insti-

tuto del Cairo presidido por MONGE, Fourier, creado barón por Napoleón, fué también nombrado por él, prefecto de Grenoble, y aquel sabio que había sido monje, profesor, militar y diplomático, fué, como administrador y como político, el mismo hombre honesto, bueno y enérgico defensor de la justicia. Ocupó aquel cargo hasta 1815 y fué, por consiguiente, durante el desempeño del mismo, que realizó su célebre estudio sobre el calor.

En 1807 presentó al Instituto su primera memoria sobre el calor; en los dos años siguientes la completó con nuevos argumentos surgidos de discusiones con LAPLACE y LAGRANGE; la terminó en 1811, cuando la Academia, interesada por sus estudios, puso a concurso la siguiente cuestión: "Dar la teoría matemática de las leyes de la propagación del calor y comparar el resultado de esta teoría con experimentos exactos". Esta memoria completa de 1812, premiada por la Academia después del informe de la comisión especial formada por LAGRANGE, LAPLACE, MALUS, HAUY y LEGENDRE, es la base de su más valioso título de gloria: su "Teoría analítica del calor" que recién publicó en 1822. Pero, como las correcciones y amplificaciones agregadas a la primera memoria no cambian su método matemático ni sus resultados esenciales, debe considerarse desde el punto de vista histórico, que la teoría matemática del calor fué establecida en el año 1807, fecha que marca uno de los más grandes triunfos de la física matemática.

La primera Restauración mantuvo a Fourier en su puesto y, a pesar de que pidiera su retiro cuando regresó Napoleón, el Emperador lo nombró Conde y Prefecto de Lyon, aunque lo separara de ese puesto dos meses después. Fourier hubiera quedado entonces en una triste situación pecuniaria si el prefecto de París no le hubiera ofrecido la dirección de la Oficina Estadística. En 1816, fué elegido miembro de la Academia de Ciencias, pero Luis XVIII sólo accedió a su ingreso ante el pedido reiterado de los académicos quienes manifestaron por unanimidad su deseo de que integrara dicha corporación. Fourier fué nombrado secretario perpetuo de la Academia en reemplazo de DE-

LAMBRE, en 1822, y miembro de la Academia Francesa en 1826, en reemplazo del historiador y literato Lemontey. Murió en 1830, víctima de una aneurisma causada por la costumbre adquirida desde su regreso de Egipto, de abrigarse con exceso y de mantener en sus habitaciones una temperatura de más de 30 grados.

ENRIQUE POINCARE ha dicho de su obra:

"La teoría del calor de Fourier es uno de los primeros ejemplos de la aplicación del análisis a la física; saliendo de hipótesis sencillas que no son sino hechos experimentales generalizados, Fourier ha deducido una serie de consecuencias cuyo conjunto constituye una teoría completa y coherente. Los resultados que ha obtenido son interesantes de por sí, pero lo que lo es más todavía es el método que ha empleado para llegar a ellos, método que siempre servirá de modelo a todos los que quieran cultivar una rama cualquiera de la física matemática. Agregaré que el libro de Fourier tiene una importancia capital en la historia de las matemáticas y que el análisis puro le debe quizás más aún que el análisis aplicado..."

Aunque no nos corresponde ocuparnos de la influencia de Fourier sobre los progresos de las matemáticas y especialmente del análisis y del álgebra, debemos citar las "series de Fourier", empleadas por tantos sabios en la elaboración matemática de sus teorías, series que transforman funciones en sumas infinitas de términos, senos o cosenos de múltiplos de la variable. Esta aplicación general de las series de Fourier no era admitida por todos los matemáticos, y WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN) a los diez y ocho años defendió esta aplicación general en una discusión con un geómetra inglés que pretendía que la serie sólo permite desarrollar funciones especiales.

Fourier consideraba a las matemáticas sólo como un instrumento útil para el descubrimiento de los fenómenos naturales, mientras que JACOBI, atacando este concepto,

afirmaba que un hermoso razonamiento matemático, inútil en apariencia, enaltece el espíritu humano tanto como un descubrimiento (1).

Dejaremos esta cuestión de principio de lado, reconociendo la indiscutible lógica del criterio de Fourier, pero admitiendo también que deben ser admirados los esfuerzos de los que, como Jacobi, hacen matemática pura sin otra finalidad que el progreso de esa hermosa creación del intelecto.

En su "Teoría analítica del calor" Fourier estableció la ecuación general de la propagación del calor en los cuerpos sólidos (2), la variación de la temperatura en todas las partes del cuerpo conductor y su equilibrio o estado final y permanente.

Fourier llama "caída de temperatura" la diferencia de temperatura entre dos secciones de un conductor distantes entre sí de 1 centímetro. Si cada sección recibe, en un mismo tiempo, una cantidad de calor igual a la que emite (por irradiación, por conductibilidad) el estado es estacionario y esta cantidad de calor es proporcional a la caída de temperatura, de acuerdo con la fórmula: $i.\, q = W = Kq \frac{dT}{ds}$ en que — $\frac{dT}{ds}$ es la caída de temperatura, i la corriente de calor que pasa en la unidad de tiempo por la unidad de superficie q, y k coeficiente de proporcionalidad, es igual al coeficiente de conductibilidad interna (3). Esta ecuación de Fourier fué estudiada por BIOT (1818) y por KIRCHHOFF (1880).

Explicó teóricamente la ley de LAMBERT (4) que, como lo hemos visto, había sido comprobada experimentalmente por LESLIE, y la explicó recurriendo a una demostración por el absurdo, llegando a probar que si el calor radiante no obedeciera a esta ley, ciertos puntos del espacio contenido por una envoltura podrían tener temperaturas

(1) E. PICARD, "La Ciencia Moderna", págs. 26 y 78.
(2) CHWOLSON, T. VI, pág. 302. — GANOT, pág. 331.
(3) HOPPE, Hist. de la Phys., pág. 257.
(4) CHWOLSON, T. III, pág. 258.

muy distintas a la de la envoltura. En esta explicación de la ley de LAMBERT, Fourier estableció que no se debe considerar que sólo las partículas superficiales de los cuerpos provocan la radiación y estudió la participación que tienen las partes interiores en su producción. Fué MELLONI quien comprobó experimentalmente esta afirmación teórica de Fourier.

Como consecuencia de su teoría analítica de la propagación del calor, Fourier estudió el problema de la temperatura de nuestro globo y expuso los resultados en varias memorias de la Academia. Hasta esa época, los sabios, y entre ellos MAIRAN, BUFFON y BAILLY, creían que la influencia del calor central de la Tierra sobre su superficie es mayor que la del calor solar; pero Fourier demostró matemáticamente que en la superficie de la Tierra la cantidad de calor conducida desde su centro no cambia la temperatura de más de 1/30 de grado centígrado y que, por consiguiente, no es de temer que si se enfriara esa fuente de calor, nuestro mundo quedase sumergido en la muerte por un frío inimaginable. También creían los sabios que como se observa que la temperatura de nuestra atmósfera disminuye con la altura, fuera de ella debe imperar un frío evaluable en millares de grado bajo cero; pero Fourier, valiéndose otra vez de su método matemático, estableció que la temperatura interplanetaria debe oscilar entre 50 ó 60 grados bajo cero, temperatura soportable, pues en la superficie de la Tierra las hay más bajas.

Es interesante observar que, a pesar del valor trascendental de la obra de Fourier, no previó este sabio analítico la aplicación de los principios de la mecánica al calor, aplicación que debía ser realizada por MAYER (1842) y que ya había sido propuesta y esbozada por YOUNG (1807). En efecto, en la introducción de la "Teoría Analítica del Calor", Fourier dice: "Cualquiera sea la extensión de las teorías mecánicas, es evidente que no se aplican a los efectos caloríficos". Es esta una nueva prueba de que las afirmaciones más categóricas de los sabios más excelsos, no tienen en ciencia sino el valor momentáneo que tienen los mismos principios.

Fourier estableció también el siguiente principio general cuya aplicación en acústica (ley de OHM) ha sido fundamental:

"Todo movimiento periódico puede ser considera-
" do como la superposición de un cierto número de mo-
" vimientos, sinusoidales parciales de amplitudes y fa-
" ses definidas y de período igual a una parte alícuota
" del período del movimiento dado." (1)

Fourier no fué exclusivamente teórico y supo recurrir en determinados casos a la experiencia, como lo demuestra su invento del "termómetro de contacto" (2) que permite determinar el coeficiente de conductibilidad relativa de las láminas, como el aparato de INGENHOUSZ lo determina en las varillas.

PECLET (3), BIOT, DESPRETZ, MEYER, FORBES, ANGSTROM, NEUMANN, CALVERT, JOHNSON, HESEHOUS, KOHLRAUSCH, KIRCHHOFF y muchos otros sabios se ocuparon experimentalmente de la conducción del calor, siendo POISSON el continuador de Fourier en el estudio analítico de esta cuestión.

NICOL
(1768-1851)

Prisma de birrefringente. Los polariscopios.

GUILLERMO NICOL, el inventor del célebre prisma birrefringente de espato de Islandia que lleva su nombre y

---

(1) Curso de Física, WATSON, pág. 56. — CHWOLSON, tomo I, pág. 128.
(2) CHWOLSON, T. VI, pág. 329.
(3) JUAN CLAUDIO PECLET (Besanzón 1793-París 1857), fué profesor de física en Marsella, en la Escuela Normal, en la Escuela Central e Inspector de la Universidad. Se ocupó del calor y del alumbrado.

que imaginó en 1828, era físico, mineralogista y geólogo, profesor de física de la Universidad de Edinburgo.

Nació en esa ciudad en 1768 y murió en 1851.

Veremos con MALUS el estudio de la polarización por medio de la reflexión, procedimiento en el cual está basado el aparato de NORRENBERG (1833, perfeccionado en 1858). Hemos visto ya que HERSCHEL (1820) empleaba como polariscopio dos láminas de turmalina, cuya propiedad de absorber el rayo ordinario había sido descubierta por BIOT (1815).

En 1830, A. SEEBECK (véase) construyó el primer polariscopio basado en el dispositivo del goniómetro de WOLLASTON reemplazando el cristal por un espejo y el ocular por un espato calcáreo. El espato doble fué introducido por Nicol en 1833 en un aparato en que formó su prisma, pegando con bálsamo de Canadá dos prismas triangulares. En 1840 reunió sus prismas birrefringentes en un solo aparato. En 1835, DOVE ya construyó un polariscopio con dos prismas de Nicol y un círculo graduado. SAVART, BREWSTER, BADEN, POWELL, AMICI, BABINET, JAMIN, BRAVAIS, aportaron luego distintos perfeccionamientos a esos primeros polariscopios.

LEBON
(1769-1804)

El alumbrado de gas. Historia del alumbrado.

FELIPE LEBON, inventor del alumbrado de gas, nació cerca de Joinville (Alto Marne) en 1769 y murió trágicamente en París en 1804.

Hijo de un oficial de Luis XV, estudió en la Escuela Politécnica, de la que salió con el grado de mayor y de la cual fué nombrado profesor de mecánica.

Como ingeniero de puentes y caminos, ocupó varios puestos en provincia y en París; pero, desde 1791, lo que más

preocupaba su espíritu era el perfeccionamiento de un aparato de su invento, la "termolámpara", que consistía en una estufa en la que se efectuaba la destilación seca de madera con la utilización de los gases para el alumbrado. En 1799, después de catorce años de estudio de la cuestión, explicó su invento en una memoria presentada a la Academia de Ciencias y obtuvo una patente para "nuevos medios de emplear más útilmente los combustibles, sea para el calor, sea para la luz, y de recoger sus distintos productos". Realizó su proyecto en El Havre, pero como sus "termolámparas" producían un gas de olor desagradable, no tuvieron el éxito que merecían. Rusia sin embargo, invitó al sabio para que propagara esa nueva industria en aquel país tan rico en maderas; pero Lebon rehusó la invitación por patriotismo y convencido que, cuando Francia volviere a su estado normal, los méritos de su invento serían reconocidos.

Lebon no pudo tener esta satisfacción, pues, en el año 1804, al salir de la ceremonia de consagración de Napoleón I, a la cual había asistido en su calidad de ingeniero-jefe de puentes y caminos, fué asesinado en plenos Campos Eliseos por malhechores que lo desvalijaron.

El invento de Lebon nos obliga a dar aquí una corta reseña de la historia del alumbrado (1).

Los antiguos se alumbraban con lamparitas de aceite, que consistían en un pequeño recipiente de barro o de metal con un orificio por donde se introducía la mecha sumergida en el combustible líquido; estas "lámparas antiguas" daban poca luz y un olor desagradable debido a la formación de vapores por combustión incompleta del aceite.

La vela, que parece ser de origen celta, reemplazó a la lámpara antigua y fué el alumbrado preferido hasta fines del siglo XVIII. La linterna fué inventada en los primeros tiempos de la Edad Media y, antes de la fabricación corriente del vidrio, se construía con láminas de cuerno.

---

(1) Véase FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", T. IV, página 1 hasta 240.

El alumbrado público fué desconocido en París hasta fines del siglo XVII y, antes de esa época, la gente honesta no se atrevía a atravesar de noche las calles de la "ciudad-luz" sin estar acompañada por gente armada y provista de antorchas.

En 1765, la Municipalidad de París encargó a la Academia de Ciencias de poner a concurso la cuestión del alumbrado público, y ya hemos visto que BOURGEOIS, BAILLY y LEROY fueron los vencedores de esa prueba, mientras que LAVOISIER fué recompensado con una medalla de oro, por una memoria que fué considerada demasiado teórica (véase LAVOISIER). Entre los sistemas propuestos, la municipalidad eligió el reverbero de aceite con reflector, inventado por BOURGEOIS, que significaba un gran adelanto en materia de alumbrado. Pero el mayor perfeccionamiento del siglo XVIII fué, indudablemente, la lámpara de ARGAND, de la que ya hemos tenido ocasión de hablar conjuntamente con la lámpara de CARCEL y el pico de mechas concéntricas de RUMFORD (véase).

Poco después del invento de ARGAND, Lebon inventó el alumbrado de gas. Hacía años ya que los ingleses habían observado que la hulla produce por calcinación, un gas combustible, sin pensar en su posible utilización. Lebon fué el primero que pensara en aprovecharlo para la calefacción y el alumbrado y, después de realizar experimentos con la hulla, prefirió utilizar la madera por considerar este procedimiento más económico en Francia. Los esfuerzos de Lebon y después los de su viuda, no encontraron eco en su propio país, mientras que en Inglaterra MURDOCH los aprovechaba e instalaba el alumbrado de gas en la usina de WATT, en Soho, en 1798, obteniendo resultados más satisfactorios en 1803. Diez años más tarde, un barrio entero de Londres era alumbrado con el gas y, en 1817, ingenieros ingleses vinieron a establecer el mismo sistema en París.

En 1821, DAVY ya había inventado el arco voltaico y frente al alumbrado de gas recién inventado, el alumbrado eléctrico se erigió en rival. En 1844, un barrio de París era alumbrado con electricidad; pero la electricidad no po-

día aplicarse al alumbrado doméstico mientras no se inventaran lámparas de menos poder que los arcos de DAVY. STARR (1844) construyó una lámpara con varilla de carbón; el ingeniero belga DE CHANGY la perfeccionó (1858) y EDISON la realizó y la hizo entrar en la práctica (1880). Con el invento de la lámpara de incandescencia, llegamos al alumbrado moderno, al cual todos los días se aportan nuevos perfeccionamientos, aumentando la intensidad luminosa y disminuyendo el consumo. (Véase EDISON).

Para darnos una idea de los progresos realizados en cuestión de alumbrado en los dos últimos siglos, basta recordar que refiriéndose al casamiento de Luis XV, en 1745, los historiadores recuerdan el asombro causado por el derroche de luz que se había hecho en esa ocasión en la galería de los espejos del palacio de Versalles, pues "1800 velas lo alumbraban", y en nuestros días esa misma galería tiene siempre una iluminación de intensidad más de diez veces mayor sin que nos cause el menor asombro. (1)

J. T. SEEBECK (1780-1831)
A. SEEBECK (1805-1849)

J. T. SEEBECK: Difracción del calor. Pila termoeléctrica.
A. SEEBECK. Vibraciones varillas. Número vibraciones sonoras. Polariscopio.

JUAN TOMAS SEEBECK nació en Reval (Rusia) en 1770 y murió en Berlín en 1831. Fué doctor en medicina y estudió en Berlín y en Gotinga. Descubrió la difracción del calor; estudió el poder calorífico de los rayos del espectro y descubrió el principio de la pila termoeléctrica. Hizo este importante descubrimiento en 1821, con un circuito formado por antimonio y cobre soldados en sus ex-

(1) "Douze conférences sur l'Electricité", por EISENMENGER. (Roger, París, 1913).

tremos; calentando una de las dos soldaduras, observó que circulaba una corriente de la soldadura caliente hacia la fría, corriente que OERSTED llamó "termoeléctrica". Demostró que la diferencia de temperatura era la causa importante y que un enfriamiento en el punto donde antes se había calentado produce una corriente en sentido opuesto, pero observó que, sólo entre ciertos límites, existe proporcionalidad entre la diferencia de temperatura y la intensidad de la corriente producida. Entendió así que el par termoeléctrico puede servir de termómetro, como lo hiciera luego PELTIER, y como lo ratificara OERSTED, quien consideró que era esta la mejor forma de medir la temperatura del calor radiante. Estableció series de cuerpos termoeléctricos y series de tensiones que fueron establecidas mejor por BECQUEREL (1829). Seebeck quiso en vano probar que en su par termoeléctrico ocurría la reciprocidad del fenómeno observado o sea que, pasando una corriente, se eleva la temperatura en el punto de soldadura. Logró demostrarlo PELTIER en 1834 (fenómeno Peltier). (Véase PELTIER).

En 1826, Seebeck realizó importantes estudios experimentales acerca de la observación hecha poco antes por ARAGO (1824) de que si se coloca una lámina de metal debajo de una aguja magnética las oscilaciones de ésta se amortiguan. Era el "magnetismo de rotación" que interesó a todos los sabios y que debía provocar el descubrimiento de la inducción para ser explicado. (Véase ARAGO). Seebeck aplicó la observación de ARAGO a las brújulas a fin de amortiguar las oscilaciones de la aguja.

Estudió también la fosforescencia y demostró que cuando ésta es excitada por una descarga eléctrica debe ser atribuída la excitación a la luz (visible o invisible) de la chispa.

El hijo de J. T. Seebeck, A. SEEBECK, nació en 1805 y murió prematuramente en 1849. Su obra se inició poco antes de la muerte de su padre; parece pues ser en muchos puntos una continuación de la vida científica de

éste, provocando con frecuencia confusiones entre los dos sabios en los textos que hacen referencia a sus obras.

A. Seebeck se ocupó también de las relaciones entre el calor y la electricidad, pero su nombre figura además en la historia de la acústica y de la óptica. En efecto, dió en 1846 una teoría de las vibraciones de las varillas que completa las investigaciones de EULER, POISSON y CAUCHY. Hizo determinaciones del número de vibraciones de los sonidos (1841-43) por medio de una sirena basada en el principio de la que inventara CAGNIARD DE LA TOUR (1829), es decir con un disco giratorio perforado de agujeros por los cuales pasa el aire, no siguiendo pues el procedimiento de SAVART (1830) de las vibraciones provocadas en una lámina por los dientes de una rueda dentada.

En óptica, Seebeck estudió, después del descubrimiento de BIOT, el poder rotatorio del azúcar (sacarimetría), y construyó en 1830 un polariscopio basado en el dispositivo del goniómetro de WOLLASTON, polariscopio que puede ser considerado como el primer aparato de esta clase, excepción hecha de las láminas de turmalina con que HERSCHEL observaba la polarización.

Recordemos en fin, que en electricidad, Seebeck estudió el "multiplicador" de SCHWEIGGER, aparato al cual dió el nombre que le ha sido conservado.

YOUNG (1)
(1773-1829)

Interferencias. Su teoría. La difracción. El eriómetro. Teoría de las ondulaciones. Teoría de los colores. Sonidos diferenciales. Interferencias del sonido. Cuerda vibrante. Tensión vapores saturantes. Teoría del calor movimiento. Relación entre el calor y la fuerza viva. Concepto del trabajo. Elasticidad de tracción. La capilaridad.

TOMAS YOUNG nació en 1773 en Milverton, en el condado de Somerset, y murió en Londres en 1829.

(1) "Notices Biographiques" de ARAGO; "Oeuvres" de VERDET.

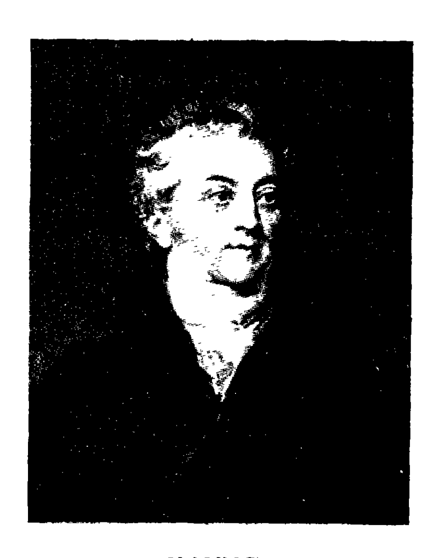
Este célebre físico inglés pertenece indiscutiblemente a los sabios enciclopédicos; todos los conocimientos lo atraían igualmente y llegó así a ser físico, médico, orientalista, matemático, botánico, químico, políglota y músico, logrando dejar en todas esas ramas del saber humano, huellas de su intensa labor.

Young pertenecía a una familia de comerciantes, afiliados a la secta religiosa de los cuákeros. Desde la infancia, se distinguió por su inteligencia y su prodigiosa memoria y se dice que a los dos años sabía leer y que a los cuatro, recitaba larguísimos poemas en inglés y en latín, aunque no entendía estos últimos. A los nueve años fué enviado a un colegio en Compton (Condado de Dorset), de donde salió cinco años más tarde conociendo (?) el latín, el griego, el francés, el italiano, el hebreo, el árabe y el persa, que en parte había estudiado solo. Una anécdota recuerda la perseverancia de Young en sus estudios: Habiéndose apasionado por la botánica, el futuro sabio quiso construir un microscopio y con este fin estudió con detención las fórmulas ópticas relacionadas con esta cuestión; pero viéndose detenido en su estudio por los signos de derivadas y no queriendo renunciar a su proyecto ni tampoco evitar una dificultad, interrumpió momentáneamente su lectura de obras de óptica para volver a ella sólo después de haber comprendido el cálculo diferencial.

Durante los cinco años que siguieron a su salida del colegio, o sea de 1787 a 1792, Young vivió en la casa de un millonario de Youngsberry (condado de Hertford), que lo había elegido como compañero de estudios de su nieto, y aprovechó grandemente ese tiempo para perfeccionar sus conocimientos. Se instaló entonces en Londres donde estudió la medicina al lado de CRUIKSHANK y BAILLIE; luego pasó a Edimburgo donde fué estudiante de BLACK, MUNRO y GREGORY; fuése a Alemania y recibió su título de doctor en medicina, en 1795, en la Universidad de Gotinga.

En esa época, el joven médico ya se había hecho conocer en el mundo científico por varias observaciones de cien-

cias naturales, por una discusión con el doctor BEDDOES acerca de la teoría del calórico de CRAWFORD y por una teoría de la visión que tuvo gran resonancia. En esta teoría, Young defendía y comprobaba la hipótesis de SAUVAGES y BOURDELOT, ya propuesta por KEPLERO y DESCARTES, según la cual el enfocamiento que se realiza naturalmente en el ojo, se debe a un cambio de curvatura



YOUNG

del cristalino. RAMSDEN y HOME atacaron las ideas de Young, pero éste, en 1800, renovó su argumentación y refutó todas las objeciones.

En 1801, fué nombrado profesor de filosofía natural en el Instituto Real y allí hizo conocer su descubrimiento y su teoría de las interferencias que son su mayor título de gloria. Casi al mismo tiempo, estudiaba los jeroglíficos egipcios de la célebre piedra de Roseta y realizó una obra que, a pesar de sus errores, lo hace considerar como un precursor de CHAMPOLLION, sin que lleguemos por esto a afirmar, como lo hacen algunos autores, que los trabajos de Young reducen la gloria de este gran orientalista y arqueólogo francés.

En 1802, Young fué nombrado secretario de la Sociedad Real de Londres; en 1803, recibió el título de bachiller y, cuatro años más tarde, el de doctor en medicina de la Universidad de Cambridge que, por disposiciones reglamentarias, no había podido reconocer antes los estudios realizados por Young en Alemania.

En 1818, fué nombrado secretario de la Oficina de Longitudes y se dedicó con preferencia al estudio de cuestiones astronómicas y náuticas y a la publicación del "Almanaque Náutico", abandonando sus ocupaciones profesionales de médico y de profesor de los hospitales de Middlesex y de San Jorge.

Poco después, Young fué víctima de una injusticia que le hizo sufrir una gran desilusión y lo afectó tanto que repercutió sensiblemente sobre su salud. El Almanaque que con tanto celo publicaba, y la Oficina de Longitudes a la que dedicaba todo su tiempo, fueron objeto de ataques injustificados de parte de algunos sabios secundados por políticos que consiguieron del gobierno la clausura de la Oficina. Más tarde, consciente de su error, el gobierno volvió a solicitar los servicios del sabio; pero esta reparación tardía no pudo hacer olvidar la ofensa a Young, cuya salud empezó a declinar rápidamente.

Además de su bondad, de su fineza y de su sociabilidad de perfecto "gentleman", las características principales de Young eran su perseverancia, su confianza sin límites en sí mismo y su amor propio de sabio. Su lema favorito era: "Todo hombre puede hacer lo que otro haya hecho", y, aplicándolo como norma de conducta, llegaba al extremo de pretender bailar tan bien como el bailarín, ser tan ágil como el acróbata, tan diestro como el prestidigitador, no despreciando ninguna facultad del hombre y teniendo el original orgullo de sobresalir en cualquiera de ellas, gracias a su extraordinaria fuerza de voluntad.

Hemos dicho que el mayor título de gloria de Young es su teoría de las interferencias; nos ocuparemos pues de ella en primer lugar.

Recordamos que BOYLE, HOOKE y NEWTON se habían ocupado de los anillos coloreados que observaron en las pompas de jabón, en las láminas de mica o aplicando una lente plano-convexa sobre una lámina de vidrio, y que NEWTON estudió con gran perfección la formación de estos anillos que conservan su nombre tratando de explicarlos por la extraña teoría de los "accesos" ("fits"). En esto había permanecido la cuestión cuando Young se ocupó de ella y llegó al convencimiento de que esas alternaciones de colores o esas rayas obscuras no deben atribuirse a períodos de luz refractada y períodos de luz reflejada como lo afirmaba NEWTON, sino a la verdadera destrucción y desaparición de la luz por la luz misma. Para llegar a esta opinión, que Young emitió en 1802 en la Sociedad Real, debía haber abandonado la teoría de la emisión y haber admitido la de las ondulaciones. Vemos, en efecto, que dos años antes, en 1800, Young había publicado un pequeño opúsculo en que trataba de identificar los modos de propagación del sonido y de la luz, y ya pronunciaba en él la palabra de "interferencia" cuando demostró que las ondas sonoras pueden sumarse algebráicamente. Volvía al concepto de HUYGHENS y de EULER de las vibraciones longitudinales.

Inútil es decir que la afirmación de Young encontró la más firme oposición de los físicos, que consideraban como un contrasentido que "luz más luz igualara obscuridad" y más ridículo aún que se atacara la teoría de emisión. Young quiso entonces demostrar la exactitud de su teoría; el problema se planteaba con toda claridad; era menester demostrar que rayos luminosos monocromáticos emanando de un mismo punto producen, al encontrarse de nuevo con cierta oblicuidad, franjas alternativamente brillantes y obscuras debidas respectivamente a la superposición de ondas etéreas en fases idénticas y a la superposición y destrucción de ondas en fases opuestas. Se observará la destrucción completa de la luz cuando las ondas son iguales, como en la luz monocromática; pero como los colores tienen distintas longitudes de onda, las diferencias de fases en la luz blanca

provocarán franjas de distintos colores, como los anillos coloreados.

Young imaginó el experimento siguiente (1): Por una abertura en una pared penetran rayos en cuyo cono de luz se coloca una pantalla con dos pequeñas aberturas; por estas últimas se forman dos conos de luz que tienen una parte común donde se observan las interferencias. En este experimento todos los requisitos exigidos por la teoría de Young se cumplen, pues la luz proviene de un mismo punto (la abertura de la pared) y vuelve a encontrarse con cierta oblicuidad, ya que la difracción en las dos aberturas de la pantalla provoca la formación de conos de luz que se entrecruzan en partes.

La distancia entre las franjas sucesivas es igual al producto de la longitud de onda de la luz por la distancia que separa la pantalla de formación de los dos haces de luz y la pantalla en que se observan las interferencias, dividido por la distancia entre las dos aberturas. Young estableció así que el rojo extremo del espectro tiene una longitud de onda de 0.000266 de pie y la del violado sería de 0.000167 de pie, encontrando en una pulgada de longitud de 37.640 a 59.750 ondulaciones (1).

Muchos autores, y Young mismo, han atribuído a HOOKE el origen del descubrimiento de las interferencias, pero la creencia de este sabio en la instantaneidad de propagación de la luz permite afirmar que este honor no le puede ser rendido y que por consiguiente Young merece íntegramente la gloria de su descubrimiento.

Generalizando las interferencias y aplicándolas a la difracción, Young explicó que las franjas coloreadas del borde de la sombra y en la sombra misma de un hilo fino o de un cabello, que GRIMALDI ya observara en 1665, se deben a la interferencia de los rayos difractados de cada lado del tenue objeto. Esta difracción, Young la atribuye a una re-

(1) CHWOLSON, T. IV, pág. 379.
(1) A. BORDEAUX, "Histoire des Sciences au XIXe. siècle", página 244.

flexión de la luz en el borde del objeto y establece que la reflexión provoca un retraso de media longitud de onda. En 1817, en una carta que Young escribió a ARAGO, afirmaba que la polarización no puede ser explicada por las ondas longitudinales sino por las ondas transversales: El germen de la obra de FRESNEL se encuentra en esta afirmación.

Los estudios de Young sobre interferencias y difracción le sugirieron la idea de un aparato nuevo para medir la dimensión media de cuerpos microscópicos, aparato que llamó "eriómetro".

Young, a pesar del refuerzo recibido con la tentativa de WOLLASTON de buscar en la olvidada teoría de HUYGHENS una explicación de sus descubrimientos, no lograba propagar sus ideas. Desalentado también por las imposibilidad de explicar con ellas la polarización, e impresionado sin duda por los trabajos a favor de la emisión realizados por sabios como LAPLACE, POISSON, BIOT y MALUS, y sobre todo por los trabajos de este último sobre polarización, Tomás Young no se sintió ya bastante convencido para seguir luchando a favor de su teoría. Veremos más adelante cómo FRESNEL llevó definitivamente a la victoria, la causa que Young tuvo que abandonar.

La similitud de puntos de vista entre Young y FRESNEL también existe en su concepto de la inmovilidad del éter, en oposición con el criterio de STOKES (1845), y es ésta una cuestión de gran actualidad por su fundamental importancia en la teoría de la relatividad de EINSTEIN (1).

Hemos visto que el estudio de los colores ha sido uno de los capítulos de la óptica que preocuparon a los sabios de todos los tiempos y que dió lugar, por consiguiente, a numerosas teorías: ARISTOTELES tomó como colores fundamentales el blanco y el negro; BACON, TEODORICO, MOROLICO unieron su estudio de los colores al del arco iris y aun del prisma; KEPLERO y DOMINIS vol-

(1) Véase FRESNEL.

vieron a hablar de la influencia de la transparencia y densidad del ambiente como causa de los colores. DESCARTES estableció la identidad entre los colores del arco iris y los colores del prisma y reconoció la existencia de tres colores fundamentales. MARCI dió opiniones exactas sobre las refracciones distintas en el prisma como causa de los colores producidos. GRIMALDI buscó la explicación de los colores en diferencias de velocidad del movimiento causa de la luz. BOYLE consideró los colores como resultados de reflexiones distintas, intermediarias del blanco, reflexión absoluta, y del negro, reflexión nula. HOOKE buscó una explicación mecánica: la luz blanca es una vibración perpendicular a la dirección del rayo, las perturbaciones de ese movimiento causan distintos colores. No reproduciremos la teoría de los colores de NEWTON que hemos estudiado detalladamente. EULER volvía, con su fe en la teoría ondulatoria, a explicar los colores en forma mecánica: la luz roja tiene ondas largas, la luz violeta ondas cortas. En 1802, WOLLASTON quiso reducir a cuatro los colores de la luz solar: rojo, verde, azul, violado. Young, en 1807, estudió la formación de todos los colores con los tres fundamentales: rojo, verde y violado, como ya lo habían propuesto varios físicos del siglo XVIII, y adoptó como representación un triángulo de cada uno de cuyos vértices emana hacia su interior uno de los colores fundamentales, provocando así todas las combinaciones de colores.

En acústica, el nombre de Young ocupa también un puesto importante. Se ocupó de los sonidos diferenciales que, como lo hemos visto, fueron descubiertos por TARTINI, SORGE o ROMIEU y fueron estudiados por matemáticos y físicos como TAYLOR, EULER, D'ALEMBERT y LAGRANGE (véase Lagrange). Este último sabio consideraba, como cinco años después lo hiciera Young (1800), que los sonidos diferenciales son producidos por pulsaciones rápidas; pero esta explicación fué discutida en su fundamento por HELMHOLTZ (1) (véase Helmholtz).

(1) CHWOLSON, T. III, pág. 197.

Young (1800) estudió, antes que HOPKINS, las interferencias del sonido; estudió el problema de la cuerda vibrante que provocó la célebre discusión de TAYLOR, BERNOULLI, D'ALEMBERT, EULER, RICCATI, ZANOTTI y LAGRANGE; imaginó un aparato óptico para estudiar la vibración de las cuerdas, anterior al método de LISSAJOUS.

En otro orden de ideas, Young estudió la tensión de los vapores saturantes de la que dió en 1807, una fórmula en función de la temperatura (2), que fué adoptada por CORIOLIS (3), TREDGOLD (4), DULONG y otros (5).

Young fué un entusiasta partidario de la teoría del calor, movimiento molecular, como lo era de la teoría de las ondulaciones de la luz, siendo uno de los activos obreros de esas dos importantes conquistas teóricas del siglo XIX. Fué además el primero en aplicar los conceptos mecánicos al calor, al establecer la relación entre el calor y la fuerza viva aunque, como lo hemos visto (véase Fourier), quince años más tarde FOURIER, el genial autor de la "Teoría del Calor", consideraba imposible esa relación.

También colaboró al desarrollo del concepto del trabajo, a cuya lenta elaboración ya hemos hecho referencia anteriormente (véase Euler), recordando los esfuerzos c

(2) CHWOLSON, T. VIII. pág. 36.
(3) GASPAR GUSTAVO, MARQUES DE CORIOLIS (París 1792-1843). Ingeniero de puentes y caminos, repetidor de analítica y mecánica de la Escuela Politécnica, reemplazó a DULONG, en 1838, como director de estudios de la misma. Hizo importantes descubrimientos teóricos y prácticos en mecánica y en calor. Se recuerda su teorema sobre aceleración del movimiento resultante de otros dos, y su obra sobre el efecto de las máquinas.
(4) TREDGOLD (Durham 1788-1827), industrial inglés.
(5) Debe hacerse la advertencia que en el calor se cita muchas veces el nombre de SYDNEY YOUNG que se ocupó, en 1883, con RAMSAY, de la misma cuestión de la tensión de los vapores saturantes (CHWOLSON, T. VIII, p. 11), en 1891 y 1909, de la densidad de los vapores (CHWOLSON, T. VIII, p. 59) y de la generalización de la teoría de los estados correspondientes (GANOT, p. 279). Otro sabio, MATEO YOUNG, se ocupó de acústica.

tanteos de KEPLERO, GALILEO, DESCARTES, EULER, y aún WATT desde el punto de vista industrial. Fué Young quien introdujo el concepto de trabajo en la física teórica y allí también fué precursor del gran desarrollo del estudio de la energía que tuvo lugar en el siglo XIX.

En mecánica, debe recordarse la importante intervención de Young en el estudio de la elasticidad de tracción. Hemos seguido el estudio de la elasticidad en VINCI con su invento del dinamómetro, en HOOKE que inauguró el estudio científico de la cuestión, en GRAVESANDE con un estudio experimental, en EULER y D. BERNOULLI que llevaron el análisis a ese capítulo de mecánica y de acústica. Hemos visto también diversos estudios de elasticidad de torsión y de flexión.

En elasticidad de tracción, Young (1807) estableció que:

1º A peso igual, el alargamiento del hilo es proporcional a su longitud.

2º A longitud igual, el alargamiento es proporcional al peso.

3º A condiciones iguales de peso, longitud y materia, el alargamiento es inversamente proporcional a la sección del hilo.

4º El alargamiento depende de la materia del hilo de acuerdo con la fórmula:

$$v = \frac{c.\,p.\,l}{q}$$

en que v es el alargamiento, c la constante característica de la materia, p el peso suspendido, l la longitud del hilo, q su sección.

De allí se deduce también que:

$$\frac{p}{q} = \frac{v}{l.\,c}$$

y si se llama: $\frac{p}{q} = K$, y: $\frac{v}{l} = \delta$, tenemos:

$$K = \frac{1}{c}\,\delta$$

en que K es la fuerza de unidad de sección y $\frac{1}{c}$ lo que Young llamó el "módulo de elasticidad".

En capilaridad, cuyo estudio seguimos en PLATON, VINCI, RHO, BORELLI, VOSSIO, FABRI, MONTANARI, GRIMALDI, BOYLE, DITTON, HOOKE, BERNOULLI, TAYLOR, HAWKSBEE, NEWTON, JURIN, CLAIRAUT, SEGNER y LAPLACE (véase Laplace), Young también tuvo una importante influencia. Demostró (1805) el teorema de la presión normal de la tensión superficial sobre una superficie curva:

$$P = K \pm \frac{H}{2}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$$

en que P es la presión normal, K la presión ejercida por la tensión superficial sobre la unidad de superficie plana del líquido, H la misma presión sobre la unidad de superficie de una esfera de radio igual a la unidad, R el radio de la mayor curvatura R' y el de la menor.

Es éste el teorema que LAPLACE desarrolló y utilizó en su teoría, a la cual nos referimos anteriormente.

BIOT
(1774-1862)

Optica: Refracción astronómica. Poder refringente de los gases. Polarización por refracción. Polarización cromática. Polarización rotatoria. Teoría de las emisiones e hipótesis de la polarización movible. Leyes de polarización rotatoria y de sacarimetría.
Mecánica: Ley de Borda. Concepto de masa.
Acústica: Propagación del sonido en los sólidos.
Calor: Dilatación. Capacidad calorífica. Tensión de los vapores saturantes. Fórmula de Dalton. Fórmula de Fourier. Pirómetro. Polarización rotatoria del calor.
Electricidad: Teoría del contacto de Volta. Ley Biot-Savart.

JUAN BAUTISTA BIOT nació en París en 1774 y murió en la misma ciudad en 1862.

Voluntario en la artillería y luego alumno de la Escuela Politécnica, empezó su vida profesional como catedrático de la Escuela Central de Beauvais. En 1800, fué llamado a París como profesor de física general y de matemáticas en el Colegio de Francia; en 1804, entró en el Observatorio de París; en 1806, acompañó a ARAGO a España para continuar la medida del grado de meridiano empezada por MECHAIN; en 1808, fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias y, en 1809, fué designado profesor de Astronomía Física de la Facultad de Ciencias.

Hombre de raro talento, Biot fué astrónomo, matemático y químico además de físico, y ejerció una gran influencia sobre todo en el movimiento científico de la primera mitad del siglo XIX, participando en todas las principales investigaciones que se realizaron. Fué también un escritor de valor y sus biografías de sabios, que hemos citado repetidas veces en esta obra, demuestran acabadamente sus aptitudes literarias que le valieron su admisión a la Academia Francesa (1856).

En Física, Biot ha dejado huellas de su actividad en muchos capítulos de esta ciencia; pero es indudablemente en óptica que se recuerda su nombre con más frecuencia.

Estudió la refracción astronómica y corrigió los índices calculados por AL HAZEN.

Estudió con ARAGO el poder refringente de los gases y con él llegó, en 1806, a determinar con exactitud el índice de refracción de los gases por medio de un prisma especial imaginado por el físico BORDA, que había muerto antes de poder utilizarlo.



BIOT

Observó la polarización por refracción independientemente de MALUS y BREWSTER, que habían hecho también esta observación en la misma época y separadamente. Esta simultaneidad no tiene, además, nada de particular, pues desde el descubrimiento de la polarización por reflexión hecho por MALUS en 1808, Biot, BREWSTER, MALUS y ARAGO, para no citar más que a los más célebres, se entregaron ardientemente al estudio del nuevo fenómeno,

y los tres primeros descubrieron la polarización por refracción en 1810, y el último la polarización cromática; pocos meses después, Biot estudió también este fenómeno e inventó un aparato para su observación con luz paralela.

En el mismo año de 1811, ARAGO observó que si se coloca una lámina de cuarzo entre el analizador y el polarizador, las imágenes "no sufren ninguna variación de intensidad ni de color si se hace girar la lámina del cristal de roca" permaneciendo fijo el analizador, pero cambia cuando se hace girar éste. Biot, que estudió este fenómeno de 1813 a 1818, le dió su nombre de "polarización rotatoria".

Partidario de las emisiones, encontró grandes dificultades en adaptar esa teoría a los nuevos fenómenos y especialmente a las polarizaciones cromática y rotatoria. Imaginó entonces la hipótesis de la "polarización movible", de la que estableció tres leyes fundamentales:

" 1º—Cuando un rayo de luz simple y polarizado " en una dirección fija, atraviesa perpendicularmente " una lámina cristalizada paralela al eje de doble re- " fracción, las moléculas luminosas empiezan penetran- " do hasta cierta profundidad, sin perder su polariza- " ción primitiva; en seguida, y continuando siempre su " movimiento de translación, de modo que su eje de po- " larización se traslade alternativamente a un lado y " a otro del eje del cristal o de la línea perpendicular " a él, en iguales distancias, como un péndulo. Cada " una de estas oscilaciones se verifica en un espesor " doble del que la molécula había recorrido primera- " mente antes de entrar en oscilación.

" 2º—En un mismo cristal, los valores de este es- " pesor son diferentes respecto a las diversas especies " de moléculas luminosas y proporcionales a las lon- " gitudes de sus accesos de fácil trasmisión o de fácil " reflexión. Pero los límites de las oscilaciones son los " mismos para todas las partículas que siguen una mis- " ma dirección en su movimiento, cuando sus ejes de " polarización parten de una dirección primitiva común.

"3º—Este movimiento oscilatorio cesa cuando, lle-
"gando las moléculas luminosas a la segunda superfi-
"cie de la lámina, salen al aire... y las moléculas lu-
"minosas proceden como si poseyesen completamente
"el sentido de polarización hacia el cual les conducía
"su última oscilación." (1)

Así que, por esta hipótesis, Biot supone una desviación de los planos de polarización de los diversos colores y explica por medio de ella, las observaciones de ARAGO. Refiriéndose al fenómeno observado por este sabio, en el cuarzo, Biot hace observar que el "cristal de roca tiene fuerzas secundarias distintas de las del sulfato de cobre" y que en él los fenómenos se realizan "como si los ejes de polarización de las moléculas luminosas se moviesen no en oscilación, sino en rotación continua alrededor de su eje, en unas láminas de derecha a izquierda y en otras de izquierda a derecha".

Desde 1815, Biot observó que no es sólo el cuarzo que goza del poder rotatorio y lo "halló en substancias, no sólo privadas de cristalización regular, sino perfectamente flúidas, como el aceite de trementina, el aceite esencial de limón, las disoluciones de alcanfor en el alcohol, la de azúcar en el agua, etc..." (2)

El profundo estudio que Biot realizó de estas cuestiones y los importantes descubrimientos que alcanzó parecen algo oscurecidos en sus obras debido a su interpretación por la teoría de las emisiones con todas las hipótesis newtonianas y otras nuevas impuestas por las nuevas dificultades; pero los descubrimientos en sí no pierden por eso su valor, que apreciamos mejor al verlos interpretados según la teoría de las ondulaciones, y entre los cuales los más conocidos son sus tres leyes de la polarización rotatoria: (3)

(1) BIOT, Tratado de Física Experimental. (Traducción de Grimaud de Velaunde). Madrid, 1826, T. IV, pág. 169.

(2) BIOT, Trat. de Fís. Exper., T. IV, pág. 192.

(3) GANOT, pág. 580. — CHWOLSON, T. V, pág. 214.

"1º—Para una misma radiación simple y láminas "del mismo cristal, la rotación es proporcional al es- "pesor.

"2º—La rotación varía con las diferentes radia- "ciones simples y es tanto mayor cuanto menor es la "longitud de onda de ésta.

"3º—La rotación es la misma en el cuarzo dex- "trógiro que en el levógiro,"

y la ley fundamental de la sacarimetría (1):

"La rotación del plano de polarización por una "solución activa es proporcional a la masa de la subs- "tancia disuelta en la unidad de volumen del líquido "neutro y a la longitud del tubo."

Para esas determinaciones debieron construirse aparatos especiales llamados "sacarímetros". El que empleaba Biot tenía como polarizador un espejo negro, como analizador un espato doble común, y el tubo con la sustancia se colocaba entre ellos. MITSCHERLICH construyó un sacarímetro con dos prismas de NICOL, y, en 1845, SOLEIL (1798-1878) interpuso entre el polarizador y el tubo una doble lámina de cuarzo y entre el tubo y el analizador un compensador para vibraciones circulares. WILD construyó su "polaristrobómetro" en 1864, pero se imaginaron muchos otros perfeccionamientos que pertenecen más a la técnica especial que a la física general.

Biot no se ocupó exclusivamente de óptica, como lo demuestra una simple enumeración de sus trabajos que interesan otras partes de la física.

En mecánica, Biot confirmó la ley de BORDA sobre disminución de la amplitud de las oscilaciones del péndulo, para amplitudes superiores a 1º. (2); emitió en 1828 el con-

(1) GANOT, p. 581; CHWOLSON, T. V, p. 220.
(2) GANOT, p. 85.

cepto de "masa" como suma de las partículas materiales de un cuerpo antes que GAUSS diera (1833) la definición racional de la masa (véase EULER), pero no utilizó la noción de "trabajo" que YOUNG ya había introducido en 1807.

En acústica, estudió la propagación del sonido en los sólidos del modo siguiente: Emitiendo un sonido en un extremo de un largo tubo (de las cañerías de la ciudad de París) se percibe en el extremo dos sonidos, siendo el primero percibido, propagado por el tubo mismo, y el segundo por el aire en él contenido. Por un simple cálculo puede pues establecerse la velocidad de propagación del sonido en el metal del tubo (1). Durante estos experimentos, Biot pudo también observar que un tubo conserva perfectamente las ondas sonoras, pues de un extremo a otro de una cañería de cerca de 1.000 metros se oía perfectamente una conversación en voz baja. (2)

En el calor, Biot estudió la dilatación, la capacidad calorífica y se ocupó de la tensión de los vapores saturantes, haciendo una valiosa corrección a la fórmula de DALTON y emitiendo así la fórmula más importante para la determinación de esa magnitud (3).

Basándose en los ensayos de GAY-LUSSAC, estableció que la tensión del vapor de soluciones salinas es más débil que la del vapor de agua pura a temperatura igual. Hizo interesantes comprobaciones de la fórmula de FOURIER (véase) de conductibilidad calorífica en varas metálicas y utilizó para sus experiencias un pirómetro basado en el dispositivo del pirómetro de NEWTON (véase) pero colocando mercurio en los agujeros de las varillas de hierro con termómetros en esos depósitos de mercurio, permitiendo el aparato calcular la temperatura conociéndose la conductibilidad

(1) GANOT p. 392; CHWOLSON, T. III, p. 75; BIOT, Trat. de Fís. Exp., T. II, p. 16.
(2) GANOT, p. 373; BIOT, Trat. de Fís. Exp., T. II, p. 10.
(3) CHWOLSON, T. VIII, p. 37.

de la vara y viceversa. En 1836, un año después de los experimentos de MELLONI, presentó una memoria en la que recopiló todo lo que se había descubierto acerca de la emisión y de la absorción del calor radiante y observó, como MELLONI, la polarización rotatoria de los rayos caloríficos invisibles, descubriendo ese poder rotatorio en el vapor de trementina. Al hablar de su intervención en el estudio del calor, debemos recordar también que, en 1829, aseguraba aún que no se podía explicar "la razón por la cual el frotamiento desarrolla calor" a pesar del célebre experimento de RUMFORD realizado en Munich en 1798. (Véase RUMFORD).

En electricidad, se recuerda su importante informe sobre la pila de VOLTA, que leyó en el Instituto. Biot se mostró, más tarde, partidario de la teoría de VOLTA del contacto (1) y atacó la teoría química de la pila del mismo modo que atacó la teoría de FRESNEL, es decir, con altura y con profundo conocimiento de causa.

En 1820, descubrió la ley conocida por "ley de Biot y Savart", en que estos dos sabios establecieron que una corriente cerrada ejerce sobre un polo magnético una fuerza, resultante de la fuerza de los elementos infinitamente pequeños de esa corriente, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, como la atracción universal (2).

Esta ley, que fué estudiada y ampliada por SCHMIDT (1822), demostraba que los multiplicadores de SCHWEIGGER y de POGGENDORFF no podían ser aparatos de precisión absoluta, e impuso así la necesidad de buscar nuevas soluciones para los aparatos de medidas electromagnéticas.

Agregaremos, en fin, que Biot fué colaborador de GAY-LUSSAC en varias ocasiones y que lo acompañó en una ascensión aerostática con fines exclusivamente científicos.

---

(1) BIOT, Trat. de Fís. Exp. T. II, p. 250 y sgts.
(2) CHWOLSON, T. X, p. 153.

Entre las numerosas obras de Biot señalaremos sus "Investigaciones sobre los movimientos de las moléculas luminosas alrededor de su centro de gravedad" (1814) en que emitió la hipótesis nueva de la teoría de las emisiones a la que nos hemos referido; su "Tratado de Física Experimental" (1816) del que hemos hecho algunas citas; y, como obra de historia de ciencias, su "Ensayo sobre la Historia de las Ciencias desde la Revolución Francesa" (1803) y su "Astronomía Egipcia" (1823).

MALUS
(1775-1812)

Teoría propia de la luz y luego demostración de la teoría de las emisiones. Descubrimiento de la polarización por reflexión. Ley de Malus. Polarización por refracción simple, simultáneamente con BIOT y BREWSTER. Goniómetro repetidor. Eje de refracción de los cristales.

ESTEBAN LUIS MALUS nació en París en 1775 y murió en la misma ciudad en 1812.

Era hijo de Luis Malus du Mitry, tesorero de Francia, y su familia estaba por consiguiente en buena situación. A los diez y ocho años, terminada su educación secundaria en la que pareció tener preferencia por la literatura, ingresó en la Escuela Militar de Ingenieros de Mezieres y conquistó rápidamente los primeros grados; pero en el terrible año de 1793, el mismo de su ingreso, la Escuela de Mezieres fué cerrada y Malus, sospechoso, perdió su grado y buscó, como muchos, un refugio en las filas del ejército. Simple soldado en un regimiento encargado de reparaciones en las fortificaciones de Dunkerque, fué distinguido por el ingeniero, quien lo hizo ingresar en la Escuela Politécnica, recién fundada,

donde MONGE lo incluyó en el grupo de alumnos que destinaba a que fueran los futuros instructores de la escuela y que preparaba personalmente con la ayuda de LAGRANGE y otros grandes sabios. MONGE, además, sintió particular afecto por Malus y se lo demostró salvándolo varias veces de las penas que merecía por ocuparse de política.



MALUS

En 1796, Malus salió de la Escuela Politécnica y se hubiera dedicado a las ciencias si la Revolución no hubiese empobrecido a su familia, lo que lo obligó a seguir la carrera militar. Fué enviado a Metz como subteniente; ascendido a capitán en el mismo año, pasó al ejército de Sambre y Mosa, donde demostró su valor en varios combates. Al año siguiente (1797), de guarnición en Giesse (Alemania), se comprometió con la hija de un profesor de la Universidad de esa ciudad, pero su casamiento fué postergado, pues recibió la orden de marchar a Tolón para formar parte de la expedición a Egipto, que se organizaba en el mayor misterio.

Estuvo entonces bajo las órdenes del general Desaix; luego acompañó a la expedición de Siria en la división de Kleber. En Jaffa, donde tuvo una actuación brillante, fué atacado por una peste y se curó milagrosamente, sin la ayuda de los facultativos. Kleber lo ascendió a mayor y con este grado tomó parte en la batalla de Heliópolis. Malus regresó a Francia, en 1801, perdida la salud para siempre; se casó en Giessen, donde su novia lo esperaba, y, de 1801 a 1810, fué enviado sucesivamente a Lille, Amberes, Estrasburgo y en fin, a París, donde fué ascendido a coronel.

Su carrera científica empezó en Egipto cuando, miembro del Instituto del Cairo fundado por Bonaparte, escribió su primera memoria acerca de la luz, en la que sostenía una teoría nueva de la luz material, combinación de oxígeno y de calórico, que se adaptaba ingeniosamente a la óptica de la época, pero que no ofrece ahora más que un valor histórico.

En 1807, Malus envió dos importantes trabajos a la Academia de Ciencias; el primero era un "Tratado de Optica Analítica", que mereció la aprobación de la comisión formada por LAGRANGE, LAPLACE, MONGE y LACROIX (1765-1843); el segundo era su "Memoria acerca del poder refringente de los cuerpos opacos" que tiene como fin determinar "definitivamente" cuál de las dos teorías de la luz, la de las emisiones y la de las ondulaciones, es la verdadera.

Malus obtuvo un triunfo para la teoría de las emisiones: veamos cómo: En 1802, WOLLASTON, partidario de las ondulaciones, había indicado un método de determinación del índice de refracción de los cuerpos diáfanos y opacos (1) que confirmaba sus opiniones en la teoría de HUYGHENS. Este método consiste en aplicar debajo de un prisma de vidrio una porción de la substancia cuyo índice de refracción se desea determinar, y calcular el ángulo bajo el cual la substancia se vuelve invisible o sea el ángulo en que

(1) CHWOLSON, T. IV, p. 28, y véase biografía de WOLLASTON.

se observa una reflexión interna total. En función de este ángulo (a) y del índice de refracción del vidrio (N), se calcula el índice de refracción de la substancia (n) por la fórmula:

$$\text{sen. } a = \frac{n}{N}$$

Por otra parte, LAPLACE había establecido en la "Mecánica Celeste" una teoría de la reflexión según la cual no se podía aplicar una misma fórmula para cuerpos diáfanos y cuerpos opacos, en virtud del concepto newtoniano de la luz. Malus quiso demostrar que esta afirmación, deducida con exactitud matemática por LAPLACE de la teoría de la emisión, se verificaba perfectamente en el método de WOLLASTON. Generalizó el método (1), observó sucesivamente cera de abeja al estado diáfano y al estado opaco, y obtuvo ángulos distintos de reflexión total, pero, aplicando las fórmulas de LAPLACE encontró en los dos casos el mismo índice de refracción. La demostración parecía definitiva: los valores distintos de los ángulos, introducidos en las fórmulas de LAPLACE, conducían a un solo valor, el del índice de refracción de la cera; las fórmulas de LAPLACE quedaban pues comprobadas y la teoría de las emisiones que las inspiró estaba "definitivamente" establecida. Así lo consideraron LAPLACE, HAUY y GAY-LUSSAC, quienes aprobaron las conclusiones de Malus; pero ARAGO, que debía más tarde sostener a FRESNEL y colaborar con él en el establecimiento de la teoría de las ondulaciones, muestra el punto débil del razonamiento, que acabamos de reproducir:

"¿Pero qué pruebas tenían de que estos índices
" deben ser iguales? ¿El paso del estado sólido de un
" cuerpo al estado líquido debe acaso carecer de in-
" fluencia sobre su refracción? ¿No podrían citarse ca-

(1) CHWOLSON, T. IV, p. 29.

"sos en que el calor modifica el poder refringente de
"los cuerpos independientemente de su densidad?"

Este triunfo de la teoría de las emisiones fué ficticio; Malus no tuvo más que una apariencia de razón, pero bastó esta apariencia para acrecentar enormemente la fe de los partidarios de la teoría newtoniana.

Llegamos ahora al descubrimiento principal de Malus: la polarización por reflexión.

Al tratar de HUYGHENS, hemos dicho ya que este sabio había descubierto la polarización — a la que no dió nombre — en la luz que sale de un cristal de espato de Islandia, y hemos citado el pasaje de su "Tratado de la luz" (1690) que se refiere a este descubrimiento. Observó que si se hace pasar un rayo por dos cristales birefringentes colocados en posiciones paralelas o "cualquiera posición en que la sección principal de uno y otro cristal se encuentren en un mismo plano", el primer cristal produce la doble refracción del rayo incidente, el segundo cristal ya no ejerce su acción birrefringente sobre los rayos emitidos por el primero y hace hacer una refracción normal al rayo ordinario y una refracción anormal al extraordinario.

Los partidarios de las emisiones explicaron el fenómeno admitiendo dos clases de partículas luminosas: las de refracción ordinaria y las de refracción extraordinaria. El primer cristal era pues un simple seleccionador de las dos clases de luz y el segundo cristal ya no tenía cometido alguno.

Esta explicación subsistió, y, sin embaigo, en la obra de HUYGHENS ya se encuentra su refutación. En efecto, el "Galileo holandés" no se limitó a observar el fenómeno cuando las secciones principales de los espatos coinciden o están en posiciones paralelas; hizo girar el segundo cristal y observó que aparecían entonces cuatro imágenes; el segundo cristal vuelve pues a provocar la birrefringencia de los dos rayos emitidos por el primer cristal. Agregaba que estos cuatros rayos tienen "ya claridades iguales, ya menores las unas que las otras según las distintas posiciones de los

cristales", y agregó todavía que los cuatro rayos "no parecen tener más luz todos juntos que el solo rayo incidente".

NEWTON estudió el curioso fenómeno descubierto por HUYGHENS y supuso que las moléculas luminosas eran parecidas a pequeños imanes con sus respectivos polos; de allí vinieron las expresiones de "polaridad" de luz y de luz "polarizada" o sea luz que manifiesta sus propiedades "polares", expresiones cuyo uso volvió a implantar Malus.

Más de un siglo transcurrió cuando, en 1808, la Academia de Ciencias puso a concurso la siguiente pregunta: "Dar una teoría matemática, verificada por la experiencia, de la doble refracción que experimenta la luz al atravesar ciertas substancias cristalizadas". El término fijado para la solución era de dos años; pero, a fines del mismo año de 1808, Malus presentó su "Memoria acerca de una propiedad de la luz reflejada por los cuerpos diáfanos".

Malus estudiaba la doble refracción y confirmaba la ley de HUYGHENS sobre el rayo extraordinario aunque dijera, como LAPLACE, que le causaba mal efecto en la obra de HUYGHENS el acercamiento de una teoría falsa a una ley exacta. Es en el curso de este estudio que Malus descubrió la polarización por reflexión en circunstancias casuales, que ARAGO nos relata en sus "Noticias Biográficas":

> "Un día, en su casa de la calle de Enfer, Malus
> " se puso a examinar con un cristal birrefringente, los
> " rayos de sol reflejados por los vidrios de las venta-
> " nas del Luxemburgo. En lugar de dos imágenes in-
> " tensas que esperaba ver, no vió más que una (1), la
> " ordinaria o la extraordinaria, según la posición que

(1) Leo sin embargo en una nota del mismo ARAGO en otra de sus obras: "Se ha cometido una equivocación al anunciar que había visto así una de las imágenes desaparecer: la polarización sobre los vidrios en el momento del experimento no era más que parcial". (Notices Scientifiques, t .IV, p. 377) y BIOT dice en "Mélanges Scientifiques et Littéraires" (t. III, pág. 105): "Haciendo girar distraídamente su prisma entre sus dedos, percibió que una de las dos imágenes trasmitidas, experimentaba *variaciones* de intensidad".

" ocupaba el cristal delante de su ojo. Este extraño fe-
" nómeno admiró mucho a nuestro amigo que trató
" de explicarlo por las modificaciones particulares que
" la luz solar pudiera experimentar al atravesar la at-
" mósfera. Pero llegada la noche, hizo caer la luz de
" una vela sobre la superficie del agua bajo un ángulo
" de 36° y constató, con un cristal birrefringente, que
" la luz reflejada estaba polarizada como si proviniese
" de un cristal de Islandia. Un experimento hecho con
" un espejo de vidrio bajo un ángulo de 35° dió el mis-
" mo resultado... Malus no se detuvo allí; hizo caer
" simultáneamente sobre la superficie del agua y a 36°
" un rayo ordinario y un rayo extraordinario prove-
" nientes de un cristal birrefringente, y observó que es-
" tos dos rayos se comportaban de modos muy distin-
" tos. Cuando el rayo ordinario experimentaba una
" reflexión parcial, el extraordinario no se reflejaba,
" es decir que atravesaba totalmente el líquido. Si la
" posición del cristal era tal, relativamente al plano en
" el cual la reflexión se operaba, que el rayo extraordi-
" nario se reflejaba parcialmente, era el ordinario que
" pasaba totalmente..."

Determinó pues que la polarización por reflexión es completa para un ángulo determinado del rayo reflejado, ángulo de 55° para el vidrio, y demostró que también puede hacerse desaparecer la luz con dos reflexiones en espejos cruzado igual que por intermedio del espato. NORREMBERG utilizó este descubrimiento para construir el aparato de polarización al cual ya hemos hecho referencia (véase NICOL).

HUYGHENS había dicho que, haya dos imágenes o haya cuatro, "todas juntas no parecen tener más luz que el rayo incidente", y la "ley de Malus", expresada en 1809, dice: "Los cuatro rayos que resultan después de atravesar los dos cristales de un eje, igualan en intensidad total el

rayo incidente primitivo". Esta ley se expresa matemáticamente:

$$\begin{cases} O' = \frac{1}{2} \cos^2 a \\ E' = \frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 a \end{cases} \qquad \begin{cases} O'' = \frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 a \\ E'' = \frac{1}{2} \cos^2 a \end{cases}$$

$$\begin{cases} O = O' + E' = \frac{1}{2} \\ E = O'' + E'' = \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$I = O + E = O' + E' + O'' + E''$$

fórmulas en que: I es la intensidad del rayo primitivo, O y E los rayos ordinarios y extraordinarios en que se descompone en el primer cristal, O' y E' los rayos a que da lugar O en el segundo cristal y O" y E" los en que se divide E.

Malus había creído primero que los metales no polarizan por reflexión; pero en otra memoria estudió la reflexión metálica y encontró que los metales son los cuerpos de menor poder polarizante sin carecer completamente de él.

En 1809, descubrió otra causa de polarización de la luz en la simple refracción y observó (1811) que en este caso la polarización se hace en un plano perpendicular al plano de incidencia o sea pues en plano perpendicular al mismo rayo de incidencia polarizado por reflexión.

Malus hizo esta observación al mismo tiempo que BIOT, con quien presentó su comunicación a la Academia (11 de Marzo de 1811) y al mismo tiempo que BREWSTER, en Inglaterra.

Los descubrimientos de Malus tuvieron un enorme éxito científico; la Academia de Ciencias le abrió sus puertas en 1810, fué admitido en la Sociedad de Arcueil, aquella academia privada reunida en la casa de BERTHOLLET y que contaba entre sus miembros a LAPLACE, BIOT, GAY-

LUSSAC, HUMBOLDT, ARAGO, THENARD(1), de CANDOLLE COLLET DESCÓSTILS (2), A. B. BERTHOLLET (3), C. L. BERTHOLLET, BERARD, CHAPTAL, DULONG, POISSON... En 1811, la Sociedad Real de Londres, a pesar del estado de guerra entre Francia e Inglaterra, discernió a Malus la medalla de RUMFORD y fué TOMAS YOUNG el encargado de comunicarle esta honrosa distinción. En el mismo año, fué nombrado director de estudios de la Escuela Politécnica, puesto que ocupó pocos meses, pues, en 1852, la tisis puso fin a su vida.

A lo ya citado, agregaremos todavía el invento del "goniómetro repetidor" de Malus que es un perfeccionamiento del goniómetro de reflexión de WOLLASTON, y su estudio del eje de refracción de los cristales con el método de determinación del mismo por la polarización.

Malus, lo hemos visto, era partidario de las emisiones, y sus descubrimientos hicieron vacilar a YOUNG en su creencia en las ondulaciones; fué sin embargo FRESNEL, cuya obra Malus no llegó a conocer, quien, con la teoría de las ondulaciones, explicó sus descubrimientos..

---

(1) LUIS THENARD (La Louptière, Aube, 1777-París 1857), era hijo de pobres cultivadores; fué ayudante de Fourcroy y de Vauquelin; profesor del Colegio de Francia, de la Escuela Politécnica, de la Sorbona; miembro del Instituto, caballero de la Legión de Honor, decano de la Facultad de Ciencias, barón, diputado, par de Francia, etc. Fué un gran químico, colaboró con GAY-LUSSAC y con DULONG; descubrió el agua oxigenada. Su hijo Pablo (1820-1884) fué su colaborador y célebre químico y agrónomo.

(2) HIPOLITO V. COLLET DESCOSTILS (Caen 1773-París 1815), químico e ingeniero, formó parte de la expedición de Egipto.

(3) AMADEO B. BERTHOLLET (París 1783-Marsella 1811), hijo y discípulo de Claudio, fundó una fábrica de carbonato de sosa que no prosperó y se suicidó antes de arrastrar a su padre a la ruina. Dominado por el espíritu científico hasta el último momento, tuvo el heroismo de escribir todo el proceso de la asfixia con que se dió la muerte.

AMPERE
(1775-1836)

Acción mutua entre una corriente y un imán (experiencia de Oersted) y entre corrientes. El solenoide. Teoría de la electrodinámica y del magnetismo. Sus hipótesis. La ley fundamental. Su teoría del magnetismo. Magnetismo terrestre. Aplicaciones. El electroimán. El telégrafo eléctrico. El motor eléctrico. El conmutador. Partidario del calor movimiento y de la teoría de las ondulaciones. Hipótesis de AVOGADRO y AMPERE.

ANDRES MARIA AMPERE (1), fundador de la electrodinámica, a quien MAXWELL llamaba "el Newton de la electricidad", nació en Lyon en 1775 y murió en Marsella en 1836.

Era hijo de un comerciante honesto y respetado quien, poco después del nacimiento de Andrés María, se retiró a los alrededores de Lyon para vivir de sus rentas. Ampere pasó así su infancia en el ambiente pacífico y monótono de una pequeña aldea, sin que esta vida tranquila aplacara, como suele hacerlo, su extraordinaria vivacidad intelectual. Apenas supo leer y escribir, ya se dedicó al estudio con ahinco; leyó libros de aritmética, literatura y filosofía, que lo entusiasmaban, y satisfacía su curiosidad leyendo la Enciclopedia metódicamente, sin saltear un solo artículo de sus veinte gruesos tomos. Su memoria era tan extraordinaria que, anciano ya, podía repetir páginas enteras de ese diccionario que no había vuelto a leer desde la edad de doce a catorce años.

La paz en que vivía la familia de Ampere fué turbada por la Revolución. El padre alarmado llevó su familia a Lyon; aceptó un juzgado de paz para atraerse la protección de los revolucionarios; pero todo fué inútil y, cuando llegó 1793, fué víctima de la locura sanguinaria del pueblo y

(1) ARAGO, "Notices biographiques"; GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 398-454.

llevado a la guillotina bajo la vaga acusación de reaccionarismo. La víspera de su muerte, despidiéndose de su mujer, le escribía: "...En cuanto a nuestro hijo no hay nada que yo no pueda esperar de él..."



AMPERE

Andrés María tenía diez y ocho años. Fué tan profundamente impresionado por la horrible noticia de la muerte de su padre, que perdió la razón. Durante un año quedó privado de sus facultades, luego, poco a poco, volvió a los libros. La literatura le interesó un tiempo, después se entusiasmó por la botánica con las obras de Juan Jacobo Rousseau y en fin, volvió a sus estudios anteriores de matemáticas. En la aldea de su residencia conoció a la futura compañera de su vida y, para poder casarse, volvió a Lyon en busca de alguna ocupación; dió clases particulares con éxito suficiente como para poder realizar su deseo en 1799

y, al año siguiente, nació su hijo Juan Jacobo Ampere (1800-1864) que fué literato e historiador de gran mérito.

En 1801, Ampere, cuyos recursos eran muy reducidos, dejó su familia en Lyon y fué a desempeñar una cátedra de física en la Escuela Central de Bourg (Ain). Al año siguiente escribió una memoria de mucha exactitud, titulada "Consideraciones acerca de la teoría matemática del juego" que fué el primero de los importantes trabajos de matemáticas que compuso de 1802 a 1819. Sus principios en esa ciencia fueron observados por DELAMBRE, quien lo hizo nombrar profesor de matemáticas en el Liceo de Lyon. Volvió así al lado de su familia, pero su dicha no fué larga, pues a los pocos meses perdió a su mujer. LAPLACE, LALANDE (1) y DELAMBRE, sus protectores, lo llamaron a París, donde fué nombrado repetidor de la Escuela Politécnica, luego Inspector de la Universidad (1809). Su fama de matemático se extendió; fué nombrado Caballero de la Legión de Honor y, en 1813, reemplazó a LAGRANGE en la Academia de Ciencias.

Ampere, matemático ya célebre que se ocupaba además de química y de filosofía y que había escrito una gramática de idioma universal de su invento, debía obtener su mayor gloria con sus estudios de electricidad iniciados recién en 1820, a la edad de cuarenta y cinco años.

En 1836, la tuberculosis había minado su salud, y fué en vano que abandonó París en busca del clima menos riguroso de Marsella. Recordaremos, como lo hacen todos sus biógrafos, que en su lecho de muerte Ampere dió una última prueba de su poderosa memoria, pues las últimas palabras que pronunció fueron para decir a un amigo que le leía trozos de la Imitación, que la conocía toda de memoria.

El carácter de Ampere merecería un estudio especial pues su extrema distracción recordada en numerosas anécdotas, su credulidad que en otra persona hubiera pasado

(1) JOSE JERONIMO LE FRANÇAIS DE LALANDE (Bourg en Bresse 1731-París 1807), eminente astrónomo y matemático francés, tío del también célebre astrónomo MIGUEL J. J. LE FRANÇAIS DE LALANDE (1766-1839).

por falta de inteligencia, su timidez que lo volvía torpe, su profunda fe religiosa, su bondad, su variabilidad de humor, su falta de confianza en sí mismo, su actitud melancólica hacían de él un personaje verdaderamente original.

En 1819, OERSTED (véase) realizó, en Copenhague, el célebre experimento con el cual se demostraba por primera vez la íntima relación entre el magnetismo y la electricidad y del cual debía derivar su estudio común: el electromagnetismo.

La ciudad de Ginebra había tenido una gran influencia sobre las ciencias en las primeras décadas del siglo XIX, pues sus sabios servían de intermediarios entre sus colegas de las grandes potencias, separadas por continuas guerras. Es en esa ciudad que ARAGO tuvo conocimiento del experimento de OERSTED y supo también que GASPAR DELARIVE lo repetía con interesantes variaciones en su hermoso laboratorio. ARAGO solicitó autorización para asistir a esos experimentos y así lo hizo, en compañía de DUMAS, PICTET, PREVOST, T. DE SAUSSURE, MARCET (1), DE CANDOLLE y algunos otros sabios. El 11 de Septiembre de 1820, vuelto a París, dió cuenta de esos experimentos en la Academia de Ciencias y Ampere concibió de inmediato que el experimento de OERSTED demostraba que la electricidad de las máquinas era "tensión eléctrica" o electricidad en reposo, estática, mientras que la electricidad de la pila es "corriente o sea electricidad en movimiento", dinámica. El lunes 18 de Septiembre leyó a la Academia un trabajo en que estudiaba la influencia de la corriente sobre otra corriente; y así en cada reunión académica, los lunes 18 y 25 de Septiembre y 9. 16 y 30 de Octubre, Ampere anunció, uno tras otro, nuevas ideas, nuevos descubrimientos y también nuevos aparatos que hábiles cons-

(1) ALEJANDRO MARCET (Ginebra 1770-Londres 1822), químico y médico suizo, fué desterrado y se radicó en Inglaterra, donde se doctoró y enseñó. Su mujer, JUANA MARCET (1769-1868), a la cual nos referimos en otra parte de esta obra (véase FARADAY), fué también célebre química. MARCET se ocupó de calorimetría en colaboración con DELARIVE y DE LA ROCHE.

tructores de París y de toda Europa reproducían de inmediato y repartían en los laboratorios de todos los países.

En el final de su lectura del 25 de setiembre, Ampere resumió así los descubrimientos realizados en los quince días anteriores:

"1º Dos corrientes eléctricas se atraen cuando se
" mueven paralelamente en el mismo sentido; se recha-
" zan cuando se mueven paralelamente en sentido con-
" trario".

"2º Resulta de ello, que cuando los hilos metálicos
" que recorren no pueden girar sino en planos parale-
" los, cada una de las dos corrientes tiende a atraer la
" otra en una posición que le sea paralela y de mismo
" sentido".

"3º Estas atracciones y repulsiones son absoluta-
" mente diferentes de las atracciones y repulsiones eléc-
" tricas ordinarias".

"4º Todos los fenómenos que presenta la acción
" mutua entre una corriente y un imán, entran en la
" ley de atracción y de repulsión de dos corrientes, tal
" como la acabo de enunciar, admitiéndose que un imán
" no es más que un conjunto de corrientes eléctricas
" que son producidas por una acción de las partículas
" de acero las unas sobre las otras, análoga a la acción
" de los elementos de una pila voltaica y que tiene lugar
" en los planos perpendiculares a la línea que une los
" polos del imán".

"5º Cuando el imán ocupa la posición que le im-
" pone la acción del globo terrestre, esas corrientes es-
" tán dirigidas en el sentido opuesto al del movimiento
" aparente del sol..."

"6º Los fenómenos conocidos de acción mutua en-
" tre dos imanes entran en la misma ley".

"7º Lo mismo debe decirse de la acción del globo
" terrestre sobre un imán, admitiéndose en aquël co-
" rrientes eléctricas en planos perpendiculares a la di-

"rección de la aguja de inclinación y que se mueven
" de Este a Oeste, debajo de esta dirección".

"8º No hay nada más ni menos en uno que en otro
" polo del imán; la única diferencia es que uno está a
" la izquierda y otro a la derecha de las corrientes eléc-
" tricas que dan al acero las propiedades magnéticas".

Ampere no se limitó a hacer observaciones y descubrimientos, los consolidó con un profundo estudio analítico de su teoría de la electrodinámica y del magnetismo. Los sabios franceses y más aún los sabios extranjeros, con raras excepciones como FOURIER, BABBAGE y GASPAR y AUGUSTO DE LA RIVE, no admitieron la teoría de Ampere y le opusieron muchos obstáculos. Entre sus detractores más activos figuraban: DAVY, FARADAY, SEEBECK, PREVOST, NOBILI. Pero la gloria de Ampere es de las que "van creciendo con los años a medida que las generaciones comprenden mejor la fecundidad de sus obras" (1) y los más grandes físicos matemáticos han elevado sus obras tomando como base la de Ampere, como lo han hecho los WEBER, NEUMANN y MAXWELL. Pero dejemos a MAXWELL, el genial creador de la teoría electro-magnética de la luz, juzgar al genial creador de la electro-dinámica:

"Las investigaciones de Ampere se cuentan entre
" los hechos más brillantes de la ciencia, nacida en el ce-
" rebro de aquel que se llama con justicia el Newton
" de la electricidad; el libro de Ampere es de una forma
" acabada, de una precisión sin igual y concluye con una
" fórmula única de la que se pueden deducir todos los
" fenómenos".

El libro a que se refiere aquí MAXWELL es la "Teoría de los fenómenos electrodinámicos deducida únicamente de la experiencia" que Ampere publicó en 1826 y que

(1) CORNU, 1888 (citado por GAY, Lect. Scient., p. 399).

BERTRAND consideraba como "la obra más admirable producida en la física matemática desde el libro de los Principios de NEWTON" (1).

A los descubrimientos resumidos en los ocho puntos que hemos citado, Ampere agregó en 1822 el descubrimiento del solenoide, de ese imán artificial que comprobaba magníficamente su concepto del imán y que debía pronto provocar el invento del electro-imán, que realizó con ARAGO. Pero si Ampere fué un descubridor genial, un inventor ingenioso y hasta un mecánico habilidoso (pues sus aparatos causaban la admiración de los sabios que desfilaban incesantemente en su laboratorio para asistir a sus extraordinarios experimentos), su mayor gloria se debe a su teoría del magnetismo y en general a su teoría analítica de la electro-dinámica que, por su aspecto matemático, no puede ser estudiada aquí con la detención necesaria. Ampere expuso estas teorías en la obra antes citada: "La teoría de los fenómenos electro-dinámicos deducida únicamente de la experiencia" y, como su título lo indica, pretendía que este trabajo analítico no descansara en ninguna hipótesis y sólo en hechos experimentales. POINCARE dice: "Creía pues que no había hecho ninguna hipótesis; las había hecho sin embargo, pero las había hecho sin darse cuenta" (2).

Entre estas hipótesis hallamos las principales cuando Ampere afirmaba que la acción mutua de dos corrientes es la resultante de las acciones mutuas de sus elementos considerados aisladamente, y que la acción mutua de dos elementos se reduce a una sola fuerza dirigida según la recta que los une (3). Simplificaba así el problema para presentarlo al análisis, pero emitía como axioma una hipótesis que no puede ser considerada como una realidad física. HELMHOLTZ atacó esa hipótesis, y, en vez de suponer la existencia de una fuerza sola entre los elementos de corriente, supuso la existencia de una fuerza y de un par, hipótesis

(1) J. BERTRAND, citado por GAY, p. 44.
(2) ENR. POINCARE, "La Science et l'hypothèse", p. 260.
(3) CHWOLSON, t. XI, p. 370 y sigu.

nueva que BERTRAND atacó a su vez provocándose así entre los dos sabios una célebre discusión.

Por la citación de MAXWELL que hemos dado más arriba, vemos que este sabio recordaba especialmente en la obra de Ampere la "fórmula única de la que se pueden deducir todos los fenómenos". Esta fórmula (1) es la ecuación fundamental de la electrodinámica; es, como lo dice CHWOLSON, "la célebre fórmula de Ampere" o, al decir de HOPPE, "el punto de partida de todo el estudio de la electrodinámica", del que se sacaron numerosas consecuencias y sobre el cual se levantaron teorías nuevas.

La teoría del magnetismo (2) de Ampere queda perfectamente delineada en los ocho puntos de su lectura del 25 de Setiembre de 1820. Esta teoría identifica el magnetismo y la electricidad; destruye pues la teoría de los dos flúidos magnéticos que se van uno al polo Norte, otro al polo Sur; es la base de las teorías modernas (3) electrónicas de VOIGT (1902), THOMSON (1903) y sobre todo de LANGEVIN (1905) y de la teoría del magnetón de WEISS (1907).

Mostró que el magnetismo terrestre tiene acción sobre un solenoide. Para destruir la acción del magnetismo terrestre en la aguja, colocó ésta en dirección de la aguja de inclinación, haciéndola "astática" y explicó el magnetismo terrestre por corrientes eléctricas cuya acción conjunta puede resumirse en una sola de Este a Oeste.

En 1822, realizó sus experiencias de rotación de un imán recorrido por una corriente alrededor de su eje y explicó el fenómeno como consecuencia de la conocida "regla".

Los descubrimientos de Ampere debían tener grandes aplicaciones; entre ellas deben citarse el telégrafo eléctrico y el motor eléctrico; pero mayores aún son las consecuencias

(1) CHWOLSON, t. XI, p. 377 (fórmula 41); BORDEAUX, "Histoire des Sciences", pág. 72.
(2) CHWOLSON, t. XI, p. 380; GANOT, p. 686.
(3) GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", p. 99; CHWOLSON, t. X, p. 42 y t. XI, p. 479.

del invento del electroimán en que Ampere tuvo gran participación, pues se puede afirmar, como lo hace CORNU, que: "ningún invento desde el de la imprenta, tuvo mayor influencia en el mundo que el electroimán; es el órgano esencial de todas las aplicaciones eléctricas, es por medio de él que todos los progresos han sido realizados..."

Desde el primer telégrafo eléctrico de LESAGE (1774) (véase LESAGE) poco se había adelantado a pesar de los esfuerzos de LHOMOND (1787), REISER en Alemania (1794), BETANCOURT (1787) y SALVA (1796) en España. La pila de VOLTA hizo entrar la telegrafía eléctrica en una nueva fase. SOMMERING, de Munich, reemplazó en 1811, los péndulos y la máquina electroestática de LESAGE por pilas y voltámetros. Ampere, en la célebre sesión del 25 de Setiembre de 1820, propuso realizar "una especie de telégrafo, por medio de tantos hilos conductores y agujas magnéticas como hay letras, colocando cada letra sobre una aguja distinta y con ayuda de una pila que se haría comunicar alternativamente por sus extremidades con las de cada hilo conductor..." Esta combinación no aportaba un gran progreso al aparato de SOMMERING, que Ampere no conocía y que consideró después, con toda honestidad, idéntico al suyo; debemos pues esperar a MORSE para llegar a la solución del problema del telégrafo por medio del electroimán. (Véase MORSE).

Después de los descubrimientos de la inducción por FARADAY y del electroimán por Ampere y ARAGO, varios sabios trataron de construir generadores de corriente eléctrica continua producida por inducción. El primer aparato digno de mención fué construído por PIXII en 1832 y consistía en un imán permanente que se hacía girar, por medio de una manija, de modo que sus polos rozaran alternativamente uno y otro polo de un electroimán; este último se imantaba entonces por influencia y las corrientes inducidas, que tenían alternativamente direcciones opuestas, eran transformadas en una corriente continua por el conmutador, cuyo invento también se debe a Ampere. El motor eléctrico

fué, pues, inventado a consecuencia de los descubrimientos de Ampere y de FARADAY. Y, sin querer rebajar en nada el mérito de este admirable sabio inglés, puede afirmarse que Ampere pudo haberle precedido en el descubrimiento de la inducción; más aún: puede afirmarse que Ampere conoció la inducción, pero pasó distraídamente a su lado sin observarla cuando dijo: "Una corriente eléctrica tiende a poner en movimiento la electricidad de los conductores cerca de los cuales pasa..."

Como otros títulos de gloria de Ampere, agregaremos que compartió, en 1821, la idea de RUMFORD (1798), DAVY (1799) y YOUNG (1807), de que el calor es movimiento; que amplió la célebre hipótesis de AVOGADRO que se llama con justicia de AVOGADRO y AMPERE; que no sólo fué entusiasta partidario de las ondulaciones sino que fué como consecuencia de una conversación mantenida con Ampere, que FRESNEL concibió su hipótesis de las vibraciones transversales de la luz.

La última obra de Ampere fué su vasta "Exposición analítica de una clasificación natural de todos los conocimientos humanos" (1834). Con este trabajo Ampere volvió a demostrar sus extraordinarias condiciones como sabio y como metafísico, pero no logró alcanzar los utópicos fines de tan amplio proyecto e invirtió en ese esfuerzo muchas energías y muchas horas que, dedicadas a la Física, habrían sido de mayor provecho para la ciencia.

OERSTED
(1777-1851)

Experimento de 1819 de la desviación de la aguja magnética por la corriente eléctrica. Fenómeno inverso. La compresibilidad del agua. El piezómetro. Ley de Boyle-Mariotte.

JUAN CRISTIAN OERSTED (frecuentemente escrito: OERSTEDT) nació en 1777 en Rudkoebing, capital de la isla danesa de Langeland, y murió en Copenhague en 1851.

Hijo de un farmacéutico, obtuvo el mismo título en la Universidad de Copenhague en 1797; prosiguió los estudios, obtuvo el título de doctor en medicina (1799) y ganó una beca de cinco años de estudio en el extranjero (1801). Se especializó en química, en Alemania; en Francia conoció a CUVIER, HAUY, BERTHOLLET, THENARD, VAUQUELIN (1), FOURIER, ARAGO, en fin, todo el magnífico cenáculo de sabios que se encontraba en París a principios del siglo XIX.



OERSTED

Después de cinco años de viaje, Oersted volvió a su patria donde fué nombrado catedrático de la Universidad de Copenhague y profesor de ciencias naturales de la escuela militar de la misma ciudad.

En 1819, realizó el célebre experimento que le hizo descubrir el electromagnetismo, como consecuencia de sus estudios sobre las relaciones entre la electricidad y la química, ciencia de su predilección.

---

(1) LUIS VAUQUELIN (Saint André, Calvados, 1763-Saint-André 1829), químico y mineralogista francés, colaborador de FOURCROY.

En 1822, construyó el "piezómetro" para estudios de compresibilidad de los líquidos y, en el mismo año, recorrió Alemania, Francia e Inglaterra, cosechando las honrosas distinciones que le valió su importante experimento de 1819. En el curso de este viaje, en 1823, construyó con FOURIER la pila termoeléctrica, cuyo principio había sido descubierto por SEEBECK, dos años antes.

En 1826, Oersted realizó en colaboración con SVENDSEN, experimentos de comprobación de la ley de Boyle-Mariotte.

En 1828, el rey de Dinamarca, Federico VI, lo nombró consejero de Estado y, al año siguiente, director de la Escuela Politécnica recién fundada, puesto que conservó hasta el fin de su vida.

Oersted era asociado extranjero del Instituto de Francia (1842), miembro de numerosas asociaciones científicas europeas, y su país le había dado grandes pruebas de su admiración. El rey le había regalado un soberbio castillo en el cual los estudiantes y sabios dinamarqueses se aprontaban a hacerle una gloriosa recepción; pero la muerte sorprendió a Oersted antes de haber podido gozar de esta última satisfacción.

Además de sus trabajos de física, Oersted ha dejado obras literarias, históricas y filosóficas y numerosas memorias de química.

Tanto en su descubrimiento del electromagnetismo (1) como en su estudio de la compresibilidad de los líquidos y en su verificación de la ley de Boyle-Mariotte, Oersted ha tenido precursores.

La analogía entre la electricidad y el magnetismo debe haber preocupado los espíritus observadores desde hace muchos siglos; pero encontramos en DESCARTES la primera afirmación concreta al respecto, ya que los cartesianos atribuían a la electricidad y al magnetismo una misma causa que según ellos debía buscarse en el éter y que exten-

(1) "Merveilles de la Science", por FIGUIER, t. I, p. 707-717, y la memoria original de Oersted en GAY, "Lectures Scientifiques", p. 394.

dían a la luz y al calor. Pero no debemos buscar los precursores directos de Oersted entre los creadores de teorías y de hipótesis, sino más bien entre los que, como él, pueden haber dado una demostración experimental de la relación íntima existente entre la electricidad y el magnetismo. Entre éstos cítanse generalmente a los italianos ROMAGNOSI (1) y MOJON (2), aunque algunos autores les nieguen todo derecho a semejante título.

La prueba invocada a favor del primero, sería un diario de Trento, de 1802, que contendría un artículo con una relación de una experiencia con la cual ROMAGNOSI habría demostrado que la corriente eléctrica desvía la aguja magnética; pero esta afirmación va acompañada de tantos detalles inexactos que hace sospechar que ROMAGNOSI se ha limitado al descubrimiento casual del hecho sin haber entendido su importancia. ALDINI, el célebre "galvanista" y sobrino de GALVANI, afirmaba, además, en 1804, que "ROMAGNOSI había reconocido que el galvanismo hace declinar la aguja magnética" y agregó que "MOJON había magnetizado agujas de coser" por la corriente de la pila. (3) Exactas o no esas afirmaciones, es indiscutible que, desde el invento de la pila, los sabios presentían el momento en que se lograría establecer una unión entre la electricidad y el magnetismo; pero en muchos experimentos que se realizaron con este fin, se evitaba cerrar la corriente porque se consideraba que la pila debía reproducir el dispositivo del imán dejándole los polos libres. Entre esos experimentos deben recordarse las tentativas infructuosas de los alema-

(1) JUAN DOMINGO ROMAGNOSI (Salso Maggiore, cerca de Plasencia, 1761-Milán 1835), fué abogado en Trenta, filósofo y jurisconsulto, matemático y físico, profesor de Física en Milán y asociado de la Academia de Ciencias de París (1833).

(2) JOSE MOJON (Génova 1776-1837), químico italiano, era director de una fábrica de productos químicos. Fué premiado en 1820, por la Academia de Ciencias de París.

(3) HOPPE dice al respecto: "Cuando los italianos LIBRI y CONFIGLIACCHI afirmaron que, en 1802, ROMAGNOSI había descubierto la desviación de la aguja magnética por la corriente, las investigaciones minuciosas de ERLENMEYER y de LEVINSTEIN mostraron que esta afirmación carecía de fundamento". (Hist. de la Phys., p. 532).

nes MUNCKE y GRUNER que querían observar una repulsión o una atracción en una pequeña pila de polos libres que flotaba en el agua, ante los polos de poderosos imanes. Nadie pensó en presentar un circuito cerrado a un imán móvil o viceversa; nadie, ni el mismo Oersted. Pero lo que no logró ni el razonamiento ni la intuición, lo consiguió el azar:

En 1812, Oersted ya expresó que "las fuerzas eléctricas en uno de los estados en que se encuentran muy condensadas pueden ejercer como imanes ciertas acciones sobre imanes". Hizo varias tentativas sin resultados claros, hasta que, a fines de 1819, mostrando el poder calorífico de la pila de VOLTA a sus alumnos de la Universidad de Copenhague, observó que una aguja magnética que se encontraba por casualidad en la mesa, se desviaba al cerrarse el circuito de la pila.

En Julio del año siguiente, el mundo científico se enteró del descubrimiento de Oersted por su memoria titulada "Experiencias relativas al efecto de la corriente eléctrica sobre la aguja magnética". Esta publicación provocó de inmediato numerosos descubrimientos: fué ARAGO, quien observó que una corriente atrae la limadura de hierro como un imán, y que el hierro dulce se imanta momentáneamente, mientras que el acero lo hace permanentemente; fué BOISGIRAUD, quien hacía flotar una aguja magnética sobre el agua y observaba que una corriente perpendicular al meridiano magnético la atraía si iba de Oeste a Este y la rechazaba si se dirigía en sentido opuesto; fué SCHWEIGGER, quien observó que un circuito circular que rodea la aguja aumenta su desviación, inventando así el galvanómetro multiplicador; fué AMPERE, en fin, quien creó la electrodinámica.

Oersted también realizó numerosas experiencias con el fin de sacar nuevas consecuencias de su feliz observación de 1819, y pudo comprobar que la acción magnética depende de la intensidad de la corriente y que, viceversa, un circuito eléctrico móvil es desviado por un imán. En este último experimento demostró pues, la acción del imán so-

bre la corriente, observación atribuída generalmente a AMPERE. (1)

En su estudio de la compresión de los líquidos, Oersted tuvo también numerosos precursores. Hemos visto, en efecto, que BACON (1620) y la ACADEMIA DEL CIMENTO (1667) trataron de comprimir agua amartillando una esfera de metal que la contenía y dedujeron de los resultados negativos de sus experimentos que el agua es incompresible; esta creencia fué compartida por MUSSCHENBROECK, BOERHAAVE y NOLLET, mientras otros físicos como BOYLE, FABRI y BECCARIA creían en la compresibilidad. Hemos visto más tarde que CANTON (1761) realizó el primer experimento decisivo para demostrar la compresibilidad y determinarla, y que PERKINS (1820) confirmó los resultados obtenidos por CANTON. PERKINS (2) construyó con este fin un aparato especial: Una caja de metal resistente, cerrada con una válvula que impide toda salida del contenido, se llena totalmente de agua y se sumerge en el fondo del mar, donde la presión alcanza unas cien atmósferas; cuando se retira la caja, se observa un aumento de peso debido al agua que penetró y una disminución de volumen causada por la gran presión, lo que demuestra claramente la compresibilidad del agua.

Dos años después, Oersted inventó su "piezómetro", que no describiremos aquí por encontrarse en la mayor parte de los textos (3). Obtuvo como valor del coeficiente de compresión de agua: $K = 46 . 10^{-6}$, pero debe observarse que Oersted cometía el error de no tomar en cuenta las variaciones de capacidad del recipiente del piezómetro, debidas a la presión.

---

(1) HOPPE, Histoire de la Phys., p. 533.

(2) JACOBO PERKINS (Newburyport, Massachusetts, 1766-Londres 1849), físico americano, empezó su carrera como simple grabador; su nombre se recuerda especialmente por su piezómetro (véase CHWOLSON, t. II, p. 170). Su hijo AUGIER M. PERKINS (1799-1881) se ocupó con éxito de la calefacción a vapor, y su nieto LOFTUS PERKINS (1834-1891), ingeniero inglés, perfeccionó la máquina de vapor.

(3) GANOT, pág. 194; CHWOLSON, t. II, pág. 170.

Como predecesores de Oersted, en el estudio de la compresión de los gases, y especialmente de la comprobación de la ley de Boyle-Mariotte, debe citarse a SULZER (1735), MUSSCHENBROECK (1759), GRAVESANDE, AMONTONS y ROBISON (1822), que habían observado inexactitudes de la ley, y a FONTANA, inventor del principio del piezómetro, que creyó en la rigurosa exactitud de la ley. A esta última conclusión también llegaron Oersted y SVENDSEN (1826), comprobándola hasta 60 atmósferas (1).

Recordemos, en fin, que Oersted fué quien animó a COLDING para que buscara la confirmación de la ley de conservación de las fuerzas vivas que éste enunció simultáneamente aunque independientemente de MAYER en 1843; que perfeccionó el electrómetro; que propuso dispositivos originales para construir pilas en la misma época en que GROVE, BUNSEN y DANIELL presentaron sus conocidos modelos; y que demostró, como lo hemos dicho antes, (véase SEEBECK), que el par termoeléctrico es el mejor termómetro para medidas de temperatura del calor radiante.

GAUSS
(1777-1855)

Determinación del momento magnético. Teorema de GAUSS. Magnetómetros unifilar y bifilar. Unidades absolutas. Decremento logarítmico. Teoría del potencial. Capilaridad. Concepto de masa Principios fundamentales. Principio del menor esfuerzo. Elasticidad de torsión. Investigaciones dióptricas. Telégrafo eléctrico. Conductibilidad de la Tierra.

CARLOS GAUSS nació en Brunswick en 1777 y murió en Gotinga en 1855.

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 32.

Fué ante todo, uno de los más grandes matemáticos de su tiempo y fué como tal que se ocupó de Astronomía y de Física; por esta razón no podemos dar al estudio de este sabio toda la importancia que merece y que se le reconoce en la historia de las matemáticas.



GAUSS

Gauss era hijo de padres pobres y no hubiera recibido la buena educación que tuvo si su extraordinaria precocidad, comparable a la de PASCAL, no hubiese atraído la atención del Duque Carlos de Brunswick, quien le otorgó su protección. Hasta 1794, estudió en su ciudad natal; luego fué a la Universidad de Gotinga de donde pasó a la de Helmstaedt, en 1798, para seguir los cursos de PFAFF, que era considerado como el primer matemático de Alemania. Volvió poco después a Brunswick y muy pronto se hizo conocer por importantes trabajos de matemáticas superiores que extendieron su fama a toda Europa.

En 1801, publicó una valiosa obra de Aritmética. su parte preferida de las matemáticas, que llamaba "la

reina de las matemáticas que son la reina de la ciencia". (1) En 1806, escribió una obra de astronomía matemática que contenía un nuevo método para calcular la revolución de los planetas. En 1807, fué nombrado director del Observatorio de Gotinga y profesor de Astronomía de la Universidad de la misma ciudad, en la que permaneció casi sin interrupción hasta el fin de su larga vida, llevando una existencia modesta y tranquila, dedicado por completo a sus estudios y a sus lecciones. "Gauss no encontraba", dice Ostwald, "mucha satisfacción en la enseñanza, y este sabio escrupuloso recurría a la extraña estratagema de anunciar particularmente a cada uno de sus estudiantes que era probable que su curso no se realizara, para evitarse algunas lecciones por falta de asistencia de los alumnos" (2).

La obra de Gauss, tan fecunda en matemáticas y astronomía, fué también muy amplia en Física, especialmente por su teoría del magnetismo terrestre y por sus estudios físico-matemáticos de electro-dinámica.

Esos estudios superiores, sólo reproducidos en toda su amplitud en cursos especiales, han dejado en la Física clásica los métodos de Gauss para la determinación del momento magnético (3) y el teorema de Gauss sobre el valor del flujo de fuerza a través de una superficie cerrada cuando contiene y cuando no contiene masa eléctrica (4). El nombre de Gauss es también muy familiar por haber sido empleado para designar la unidad de intensidad del campo magnético.

Para determinar las constantes del magnetismo terrestre y para estudiar sus variaciones, Gauss había fundado con A. HUMBOLDT una "Asociación Magnética" que sólo vivió seis años (1836-1842). Fué para las investigaciones que allí se realizaban que Gauss inventó sus magne-

(1) PICARD, "Ciencia Moderna", pág. 26.
(2) OSTWALD, "Les grands hommes", pág. 273.
(3) GANOT, pág. 600; CHWOLSON, t. XI, pág. 333.
(4) CHASSAGNY, "Cours de Physique", pág. 1053; CHWOLSON, t. IX, pág. 44.

tómetros unifilar y bifilar y que se preocupó en fijar unidades absolutas de medidas. Tomó como base en el establecimiento de las medidas el milímetro, el miligramo y el segundo, pero por ser estas unidades demasiado reducidas se resolvió en un Congreso Internacional (1881) adoptar la base de medidas propuesta por KELVIN: centímetro, gramo, segundo (C. G. S.)

Fué con sus medidas absolutas que Gauss midió el momento magnético y la componente horizontal del magnetismo terrestre por observaciones de las oscilaciones hechas con aparatos de su propio invento o aparatos inventados por WEBER. Para medir esas oscilaciones con su amortiguación, introdujo el valor del "decremento logarítmico", magnitud que también utilizó en su estudio de la disminución del movimiento vibratorio por influencia del frotamiento, estudio de gran interés en acústica e iniciado por EULER.

En 1839, publicó su obra principal sobre magnetismo, introduciendo en este estudio la teoría del potencial cuyo desarrollo hemos señalado con el estudio de sus fundadores EULER y LAGRANGE, y de LAPLACE, y teoría a la cual Gauss dió toda su importancia.

Debemos citar aún la teoría de la capilaridad de Gauss, que se diferencia de la de LAPLACE, pues su principal objeto es determinar la "tensión superficial" por el trabajo necesario para aumentar la superficie de un líquido, lo que expresa en una fórmula sencilla que tiene muchas relaciones con las de LAPLACE (1) (véase), y establece que las superficies libres de los líquidos son siempre de área mínima (1832).

En Mecánica, el nombre de Gauss ocupa también un lugar de honor en la historia de la evolución de esta ciencia.

Ya hemos dicho que se le debe la definición racional del concepto de masa, que separa definitivamente del de materia como ya lo había hecho BIOT, pocos años antes,

---

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 185.

y como había sido logrado lentamente a través de las obras de KEPLERO, DESCARTES, NEWTON y EULER.

Volvió a discutir y precisar el significado de los principios fundamentales como el principio de las velocidades virtuales, obra de VINCI, GALILEO, BERNOULLI, MAUPERTUIS, D'ALEMBERT, EULER, LAGRANGE, y demostró que, a pesar de los esfuerzos de LAGRANGE, D'ALEMBERT y FOURIER, es imposible encontrar la "prueba" del principio, pero que debemos satisfacernos con que dé soluciones a todos los problemas de estática. Del "principio de la mínima acción" de MAUPERTUIS, Gauss hizo derivar el principio del "mínimo esfuerzo" unido también al principio de D'ALEMBERT y enunció (1829) que: "Si una masa recorre una distancia ab, y siendo libre hubiese recorrido ac, el producto de la masa por la distancia bc es el menor posible".

Gauss sabía que este principio no es absolutamente original y hasta sostenía que ya no se pueden agregar principios nuevos a la mecánica sino nuevos puntos de vista; en efecto, ese teorema de Gauss no es sino un nuevo punto de vista del teorema de D'ALEMBERT y del principio de LAGRANGE. (1)

Estudió también la elasticidad de torsión de tanta importancia por la aplicación que supo darle COULOMB en su "balanza de torsión", y determinó que en los hilos de seda retorcida el coeficiente de torsión varía con el peso de tensión, pero que esta causa de error no ocurre, con el hilo sacado directamente del capullo, hilo excesivamente frágil que puede ser ventajosamente reemplazado por un filamento de vidrio o de cuarzo.

En 1843, Gauss publicó su obra "Investigaciones Dióptricas", que debe ser considerada como la investigación más importante sobre la teoría de los instrumentos de óptica que se haya realizado desde los célebres trabajos de EULER. Esta obra de Gauss ha servido de base no sólo a otras in-

(1) MACH, "La Mécanique", pág. 334-345.

vestigaciones teóricas como las de W. HAMILTON, de MOEBIUS (1790-1868) y de MAXWELL (1858), sino también a todos los grandes perfeccionamientos de la construcción de instrumentos de óptica, perfeccionamientos cuya interesantísima historia no nos corresponde recordar aquí, pero de la cual merece ser destacada la obra fértil del sabio ABBE, el colaborador técnico del célebre óptico ZEISS de Jena. Este trabajo de Gauss permitió también hacer progresar en forma sensible el estudio óptico del ojo, estudio en el cual se ha destacado especialmente LISTING (1808-1882).

Toda esa vasta obra de física-matemática superior de Gauss no es la que hace citar más a menudo su nombre en las hitorias de la física, y algunas de ellas sólo recuerdan al célebre matemático alemán por su intervención en el invento del telégrafo. Es que, en 1844, Gauss y su amigo el sabio GUILLERMO WEBER reunieron sus casas de Gotinga con un telégrafo eléctrico que puede ser considerado como el primero que haya tenido una aplicación práctica.

Este aparato, semejante al de AMPERE, tenía un circuito por cada letra en lugar de reducirlos a cinco como ya lo había imaginado SCHILLING. Más interesante que el simple recuerdo de esta instalación de un aparato telegráfico es el hecho de que Gauss fué probablemente quien aconsejó a STEINHEIL (1) hacer experimentos acerca de la conductibilidad de la Tierra, experimentos que condujeron a este último sabio al importante descubrimiento de que la tierra puede reemplazar el hilo de vuelta de la corriente. (Véase Morse)

---

(1) CARLOS AUGUSTO STEINHEIL (Rappoltsweiler, Alsacia, 1801-Munich 1870), era profesor de física de Munich.

CAGNIARD DE LA TOUR
(1777-1859)

Inventos mecánicos. La sirena. Propagación del sonido en el agua. Vaporización total y estado crítico.

El barón CARLOS CAGNIARD DE LA TOUR nació en París en 1777 y murió en 1859.

Formó parte de una de las primeras promociones de la Escuela Politécnica; más tarde estudió en la Escuela de los Ingenieros Geógrafos; ocupó importantes puestos en el Consejo de Estado y en el Ministerio del Interior y, en 1851, entró en la Academia de Ciencias en reemplazo de GAY-LUSSAC.

Se debe a Cagniard la transformación del tornillo de ARQUIMEDES en máquina de compresión (1809), procedimientos industriales para la fabricación de la pólvora (1814), una bomba hidráulica, una máquina para estudiar el vuelo de los pájaros y varios otros inventos; pero sus obras más importantes, sin duda, son los estudios generales de acústica y su descubrimiento del punto crítico, aunque su nombre sólo sea recordado generalmente por su invento de la sirena.

La sirena de Cagniard (1) es demasiado conocida para ser descripta aquí pero merece señalarse que este aparato, que Cagniard inventó en 1819, fué, un siglo después de la rueda dentada de VICTOR STANCARI (1678-1709) parecida a la de SAVART, uno de los primeros aparatos que permitieran determinar directamente el número de vibraciones de un sonido determinado y los límites de perceptibilidad de los sonidos. Esa sirena de Cagniard fué perfeccionada por DOVE (1851), y HELMHOLTZ (1863) la hizo doble.

En 1835, Cagniard estudió la propagación del sonido en el agua después de SAVART y de COLLADON y ob-

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 163; GANOT, pág. 357.

servó que esa velocidad varía según el modo de producir el sonido. Imaginó así ingeniosos experimentos en que producía sonidos por medios muy distintos y demostró la variación de la velocidad, fenómeno que parece no haber sido explicado aún (1). Entre esos experimentos merece ser recordado el procedimiento que consistía en hacer vibrar por frotamiento un tubo lleno de agua a fin de estudiar la velocidad de propagación de esa vibración en el agua. WERTHEIM (1849) adoptó el mismo dispositivo pero hacía vibrar la columna líquida por medio de otra corriente líquida.

En 1822, Cagniard realizó interesantes investigaciones sobre la vaporización total y descubrió el estado crítico de los líquidos, dando cuenta de ello en su "Exposición de algunos resultados obtenidos por la acción combinada del calor y de la presión sobre ciertos líquidos". El aparato que empleó consistía en un depósito de cristal que comunicaba en su parte inferior con un manómetro de mercurio. Llenaba el depósito hasta la mitad con el líquido estudiado y lo calentaba hasta su vaporización total, observándose en ese momento la temperatura y la presión indicada por el manómetro. Estudió así el punto crítico de muchos líquidos como el éter y el sulfuro de carbono, y el agua (2). Estos experimentos de Cagniard de la Tour pasaron casi inadvertidos hasta que FARADAY (1848), MENDELEIEFF (1860) y sobre todo ANDREWS (1869) volvieron a estudiar el fenómeno que Cagniard había descubierto.

---

(1) BORDEAUX, "Histoire des Sciences", pág. 165.
(2) CHWOLSON, t. VIII, pág. 121; GANOT, pág. 264.

DAVY (1)
(1778-1829)

Teoría química de la pila. Teoría mixta: contacto y acción química. Teoría de la electrólisis. Descomposición del agua. Descomposición soluciones. El arco voltaico, influencia del imán, desgaste de los carbones. Partidario del calor movimiento. Lámpara de seguridad. ¿Precursor de LENOIR en el invento del motor de gas? Rotación del mercurio. Conductibilidad eléctrica e influencia del calor.

HUMPHRY DAVY nació en Penzance en Cornuailles, en 1778 y murió en 1829 en Ginebra.

El padre de Davy, que era escultor en madera, murió cuando éste tenía diez y siete años; Humphry era el mayor de los hijos y tenía cuatro hermanos. Concurrió a la escuela de su pueblo pero, aunque demostrara ser inteligente y precoz, fué un alumno poco aplicado y reacio a toda enseñanza clásica.

La primera manifestación intelectual de Davy la constiuyó una colección de poesías que sus biógrafos han conservado; no obstante esta manifestación, desde la muerte de su padre, se empleó en la pequeña farmacia de Penzance y, abandonó por completo las letras. Escribió algunos artículos científicos sin mayor valor para la ciencia, que tuvieron, sin embargo, la suerte de atraer la atención del doctor BEDDOES (2), quien llamó a Davy a su lado. Ese doctor Beddoes había instalado cerca de Bristol, la "Institu-

(1) "Grands Hommes", por OSTWALD, pág. 24-45; GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 389 a 394; FIGUIER, "Les Merveilles de la Science".

(2) TOMAS BEDDOES (Shifnal, condado de Shrop, 1760-1808), estudió en las universidades de Oxford, de Londres, donde se hizo "Magister Artium" (1783), de Edimburgo y, nuevamente, en Oxford, donde se doctoró en medicina (1786). Estuvo en París donde fué amigo de LAVOISIER; fué profesor de la Universidad de Oxford (1792), pero fué separado de su puesto por su entusiasta defensa de la Revolución Francesa. En 1798, fundó su célebre "Instituto Neumático" gracias a la ayuda material del generoso sabio WEDGWOOD.

ción Neumática", especie de clínica médica en que se daban inhalaciones gaseosas. Davy llegó allí como ayudante de laboratorio y fué encargado de hacer observaciones acerca de la acción fisiológica de los gases.

El primer gas estudiado por Davy fué el protóxido de nitrógeno del que descubrió las propiedades anestésicas e hilarantes (1), y, en 1800, publicó una obra titulada "Investigaciones químicas y fisiológicas del óxido nitroso" que interesó vivamente al mundo científico.



DAVY

En 1801, Davy dió lecciones en la Institución Real de Londres y este joven de 23 años entusiasmó a su auditorio, en parte intelectual y en parte mundano, con su propio entusiasmo y con una fuerza atractiva que le era particular. La gloria le sonrió; sus trabajos de química y de fisiología habían hecho descubrir sus facultades de experimentador, su

(1) Léase la historia de esta cuestión en FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. II, pág. 637 y siguientes.

rara imaginación y su rapidez de vista asombrosa, y le habían atraído la consideración de los sabios. Sus brillantes conferencias habían sido tan apreciadas por la alta sociedad que Davy se había vuelto el "sabio de moda". En 1803, se le abrieron las puertas de la Sociedad Real de Londres de la cual fué nombrado secretario tres años más tarde; en 1808, el Instituto de Francia le otorgó el premio de VOLTA, apesar de encontrarse Francia e Inglaterra en vísperas de una guerra; en 1812, fué nombrado "Baronet" por el Rey de Inglaterra; en 1817, fué elegido asociado extranjero del Instituto de Francia, y en 1820, fué nombrado Presidente de la Sociedad Real de Londres.

Sus primeros y principales trabajos científicos se sucedieron, como lo veremos más adelante, en los primeros años del siglo XIX y le provocaron un cansancio tal que, en 1807-1808 estuvo gravemente enfermo. Después de esta enfermedad, Davy no recuperó íntegramente sus fuerzas intelectuales, apesar de haber podido realizar aún importantes trabajos. De 1813 a 1815, recorrió el continente europeo y pasó muchos meses en Francia, donde conoció a BERTHOLLET, CUVIER, CHAPTAL, VAUQUELIN, HUMBOLDT, MORVEAU, CLEMENT-DESORMES y GAY-LUSSAC; luego estuvo en Suiza y en Italia, siempre acompañado por su ayudante el célebre FARADAY, a quien trataba con exagerado orgullo.

Davy era considerado como el primer sabio de Inglaterra y todas las dificultades científicas o técnicas le eran sometidas; es así que inventó la lámpara de seguridad a pedido de los propietarios de minas de carbón y que estudió el problema de la protección de los navíos. Por la misma razón, el rey de Inglaterra, Jorge IV, lo encargó de la reconstitución de los manuscritos encontrados medio carbonizados en las ruinas de Pompeya y Herculano, trabajo que motivó el segundo viaje de Davy a Italia. En el curso de este viaje, el célebre sabio se sentía muy débil y, en 1829, emprendió apresuradamente la vuelta hacia su patria, pero era demasiado tarde, pues falleció a mitad de viaje en Ginebra.

Sus restos fueron sepultados en el cementerio de esa ciudad, al lado de los del físico PICTET.

Los últimos años de Davy no fueron marcados por ningún trabajo científico original y puede considerarse que el sabio genial ya había muerto para la ciencia. Sus dos últimos libros fueron: un "Tratado sobre la pesca con caña" y sus "Consuelos de viaje o los últimos días de un filósofo", obra esta en que no falta talento literario y abundan pensamientos elevados, pero que no merece sin embargo llevar el nombre de Davy; CUVIER la llamó acertadamente "la obra de Platón moribundo".

En física, debemos recordar especialmente los estudios de Davy acerca de la pila de VOLTA.

Hemos visto que NICHOLSON, CARLISLE y CRUIKSHANK fueron los primeros en Inglaterra en recibir, por intermedio de JOSE BANKS, la comunicación del invento de VOLTA y que los dos primeros descubrieron la descomposición del agua por la corriente mientras el último descubrió la descomposición de los óxidos metálicos. Dos o tres meses después de esos importantes descubrimientos, en octubre de 1800, Davy expresó su opinión acerca del "galvanismo" que consideraba, como "un procedimiento puramente químico que depende enteramente de la oxidación de superficies metálicas con grados distintos de conductibilidad eléctrica"; pero no mantuvo esa opinión favorable a la hipótesis exclusivamente química de las manifestaciones eléctricas, pues trató más tarde (1806) de conciliarla con la teoría del contacto de VOLTA, admitiendo el contacto y la reacción como dos fuentes de electricidad concordantes y considerando que el contacto puede iniciar la corriente por ser "la causa que turba el equilibrio" y que la acción química "mantiene esa corriente y tiende a restablecer el equilibrio" (1).

En sus propios experimentos sobre descomposición del agua, Davy había observado que el agua hervida se descom-

(1) Véase el estudio sobre VOLTA; léase la memoria original de DAVY en GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 389.

ponía en 56 partes de hidrógeno y 14 de oxígeno; atribuyó esto a una absorción del oxígeno por el agua y repitió las experiencias con agua ya saturada de oxígeno, obteniendo entonces 57 partes de hidrógeno y 27 de oxígeno.

En junio de 1801, inventó una variación de la pila de VOLTA en que, en lugar de emplear dos metales distintos sumergidos en un líquido, colocaba un solo metal entre dos líquidos distintos pero de tal modo que se oxidara una sola cara del metal.

En 1802, construyó una pila de dimensiones colosales, formada por 400 pares, para continuar sus investigaciones.

De 1806 a 1810, Davy fué encargado de las "Lecciones Bakerianas" especies de conferencias anuales que la Sociedad Real hacía pronunciar por uno de sus miembros y que remuneraba con la suma de cien libras, intereses de un capital dejado a esta Asociación por BAKER. (1)

En su primera lección bakeriana de 1806, Davy leyó su célebre "Memoria acerca del modo de acción química de la electricidad". En esa memoria Davy consideraba la afinidad química como una atracción eléctrica, explicándose así la descomposición de los cuerpos por la corriente; expone en el mismo trabajo su teoría de la pila, conciliadora entre la teoría del contacto y la teoría química, a la que acabamos de referirnos, y que puede ser considerada como precursora de la teoría de AMPERE, de la teoría dualística de BERZELIUS y de otras teorías electro-químicas de las cuales una de las más satisfactorias es la de NERNST (1889). Pero esta memoria tuvo mayores consecuencias aún, pues fué coronada por el descubrimiento de Davy de los metales alcalinos.

LAVOISIER ya había entendido que la potasa, la soda, la cal, son cuerpos compuestos comparables a los óxidos metálicos; pero desde entonces no se había comprobado

(1) ENRIQUE BAKER (Londres 1698-1774), naturalista inglés, miembro de la Sociedad Real desde 1740; fué premiado por esa sociedad con la medalla "Copley" (1744) por sus estudios microscópicos de la cristalización de las sales.

esta afirmación. En 1807, con una pila de 250 pares, Davy separó el potasio de la potasa cáustica; al día siguiente, aisló el sodio, y poco después, con métodos algo perfeccionados por él mismo y por SEEBECK, logró aislar el bario, el estroncio, el calcio y el magnesio.

Hemos hablado ya de las primeras investigaciones de RITTER que pueden ser consideradas precursoras de este aspecto de la obra de Davy, pero veremos, al tratar de GROTTHUS, la teoría de la electrólisis que este sabio ruso emitió hacia 1806 y que publicó el 31 de julio de 1807 en los "Anales de Química". Davy estableció una teoría casi idéntica a la de GROTTHUS y la publicó en los mismos Anales el 31 de agosto de 1807, después de haberla expuesto en la Sociedad Real de Londres en noviembre de 1806.

La teoría podría pues llamarse de Grotthus-Davy ya que parece haber sido establecida simultáneamente por esos dos sabios. El párrafo principal del trabajo de Davy sintetiza esta teoría del modo siguiente:

> "Es natural suponer que las energías repulsiva
> "y atractiva son comunicadas de una partícula a otra
> "de misma especie, de manera que establecen en el
> "líquido una cadena conductora, y que el transporte
> "tiene lugar en consecuencia; y muchos hechos pare-
> "cen demostrar que las cosas pasan así realmen-
> "te..." (1)

La teoría de Davy, tan admirablemente sostenida por los resultados prácticos o sea por sus descomposiciones de soluciones, tuvo gran aceptación, pero BERZELIUS consideró que cada cuerpo simple tiene cantidades iguales de electricidad positiva y de electricidad negativa y que al combinarse pierden una u otra de esas electricidades. FARADAY, el ayudante de Davy que dió a la electrólisis un magnífico desarrollo, siguió los pasos de su maestro, pero pronto señaló (1834) que Davy cometía un error al creer que

(1) GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 391.

el agua es necesaria a la descomposición y es parte fundamental e indispensable para que tuviera lugar el fenómeno.

Después de estos importantes trabajos, Davy cayó gravemente enfermo y abandonó su labor científica durante varios meses. Sus trabajos habían excitado el entusiasmo de todos los sabios, y, mientras Napoleón, celoso de este éxito de un inglés pero bastante honesto para reconocer su mérito premiándolo con el premio de VOLTA, hacía construir una pila formidable en la Escuela Politécnica, la Institución Real de Londres hacía construir por indicaciones de Davy una pila de WOLLASTON de 2000 pares, divididos en 200 grupos.

Con esta pila, en 1813, Davy observó que, acercando dos carbones en comunicación cada uno con un polo de la pila, se formaba entre ellos una chispa intensamente luminosa que tenía la forma de un arco: había descubierto el arco voltaico, pero habiendo observado que las puntas de los carbones se consumen y que se interrumpe el experimento, los encerró en un globo de vidrio en el cual hacía el vacío. Fué el sabio francés FOUCAULT (véase) quien supo resolver prácticamente el problema y aplicar el arco voltaico al alumbrado. (1)

Se discute el derecho de Davy al invento del arco voltaico, ya reivindicándose derechos para RITTER quien, como lo hemos visto, observó que la chispa es más brillante cuando los conductores metálicos tienen puntas de carbón, ya considerándose que la demostración de un arco voltaico hecha por DE LA RIVE en 1820 es anterior al invento de Davy (2)

Aun en el caso de no reconocerse a Davy sus derechos al invento absoluto del arco, le quedaría el mérito de dos importantes observaciones al respecto: la desviación del arco por el imán y el desgaste del carbón positivo a favor del ne-

(1) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. IV, pág. 214-226.
(2) HOPPE, "Histoire de la Physique", pág. 539.

gativo, hecho que CASSELMANN (1843) y VAN BREDA (1847) estudiaron y explicaron. Estas dos observaciones de Davy habían de ser utilizadas más tarde con provecho en las investigaciones sobre rayos catódicos.

En 1812, Davy se mostró partidario de la teoría del calor-movimiento cuando escribió: "La causa inmediata de los fenómenos del calor se encuentra en el movimiento, y las leyes de su comunicación son precisamente las mismas que las leyes de la comunicación del movimiento". Ya en 1799, Davy había querido demostrar la relación entre el calor y el movimiento frotando uno contra otro dos trozos de hielo en el vacío y en una temperatura inferior a cero, provocándose así su fusión; pero debe observarse que este experimento ya había sido realizado por BOYLE.

En 1813, en París. Davy, que ya había aislado el cloro, aisló el yodo y sostuvo una discusión con GAY-LUSSAC, quien se atribuía el honor del mismo descubrimiento.

En 1815, Davy inventó la lámpara de seguridad con tela metálica, no por casualidad como lo sostienen algunos autores, sino a pedido de los propietarios de minas después de haber ocurrido varias catástrofes causadas por explosiones de grisú; pero debe recordarse que JORGE STEPHENSON ya había inventado una lámpara de seguridad de idéntica aplicación y basada en el mismo principio, en la cual el calor de la llama era detenido por pequeños tubos en lugar de una tela metálica.

Davy quiso también resolver el problema de la fotografía, pero sus experimentos no fueron felices, pues obtuvo con los compuestos de plata "imágenes del cuarto obscuro demasiado débilmente alumbradas para formar un dibujo...".

En 1820, Davy propuso que se buscara la fuerza motriz de una nueva máquina en la expansión de los gases y esta afirmación le dá ciertos títulos a ser considerado como

un precursor de LENOIR (1), en el invento de los motores de gas (1860).

Entre los últimos trabajos de Davy debe citarse, en 1823, su experimento sobre la rotación de un líquido que deriva de los experimentos de FARADAY (1821) sobre rotación de los imanes, y que consiste en cerrar una corriente con el mercurio de un recipiente colocado en el polo de un imán, observándose entonces un torbellino en el extremo de los dos trozos del hilo sumergidos en el mercurio. Este fenómeno fué estudiado por BERTIN (2) y DE LA RIVE y su teoría fué dada por RIECKE en 1885 (3).

En 1822, Davy se ocupó de la conductibilidad de los conductores eléctricos. RITTER ya había creído observar, a pesar de lo rudimentario de sus experimentos, que la conductibilidad de la corriente galvánica varía según la naturaleza del metal. Otros investigadores habían hecho observaciones similares pero desprovistas como las de RITTER de la comprobación de una medida exacta. Davy creyó poder deducir de sus observaciones que la rapidez con que se ca-

---

(1) JUAN JOSE ESTEBAN LENOIR (Mussy-la-Ville, Luxemburgo belga 1822-Sarenne-Saint-Hilaire, Francia 1900), vino a París a los diez y seis años como mozo de café; realizó numerosos inventos, eclipsados todos por su invento del motor de gas, en 1860.

Además de la máquina de vapor y del motor eléctrico, otros motores habían sido imaginados. STIRLING (1816) había inventado un motor de aire caliente y ERICSSON (Langbanshyttan, Suecia 1802-Nueva York 1889) le había dado su forma práctica. Lenoir inventó un motor en que no se calentaba el aire o el gas contenido por el cilindro como en el motor de STIRLING, sino que en él la energía era producida por la dilatación del gas (mezcla de 90 % de aire y 10 % de gas alumbrado) cuando se provocaba su explosión en el cilindro por medio de una chispa.

Del motor Lenoir ha nacido el motor de explosión de petróleo o bencina gracias al cual han podido progresar el automovilismo y la aviación. El hijo de LENOIR, PABLO E. LENOIR (1776-1827) fué también un buen mecánico y formó parte de la expedición a Egipto.

(2) PEDRO AUGUSTO BERTIN (Besanzón 1818-1884), físico francés, fué profesor en Estrasburgo y suplente de REGNAULT en el Colegio de Francia. Estudió el radiómetro de CROOKES, la polarización de los anillos de NEWTON, la polarización rotatoria (1848). En 1861 imaginó las "superficies isocromáticas de Bertín" en el estudio de la polarización cromática en luz convergente. (CHWOLSON, t. V. pág. 161).

(3) CHWOLSON, t.XI, pág. 354.

lienta el conductor de corriente es inversamente proporcional a su conductibilidad y resolvió determinar la conductibilidad eléctrica de los metales por el tiempo que hilos de mismas dimensiones de distintos metales demoran en alcanzar una temperatura determinada. Observó así mismo que esa conductibilidad varía según la temperatura siendo menor a temperatura más elevada. BARLOW y sobre todo OHM continuaron este estudio de la conductibilidad; JOULE, E. BECQUEREL, LENZ, POGGENDORFF y MULLER prosiguieron el fecundo estudio de las relaciones entre el calor y la corriente.

GAY-LUSSAC
(1778-1850)

Con HUMBOLDT: eudiometría y magnetismo terrestre. Dilatación de los gases. Descomposición de cuerpos. Barómetro de sifón. Ley de GAY-LUSSAC. Cero absoluto. Densidad de los gases. Sobrefusión. Influencia del vaso en la ebullición. Tensión de los vapores bajo 0º. Difusión y expansión de los gases. Experimento de 1807. Corrección barométrica. Capilaridad. Magnetismo terrestre.

JOSE LUIS GAY-LUSSAC nació en Saint-Leonard, en Limousin, en 1778 y murió en París en 1850.

Su vida científica abarcó pues toda la primera mitad del siglo XIX y puede decirse que durante ese medio siglo no hubo ningún progreso de física o de química a la realización del cual Gay-Lussac no haya contribuído directa o indirectamente.

Este sabio pertenecía a una familia de profesionales; su abuelo era médico y su padre fué Procurador del Rey y juez.

Gay-Lussac recibió su primera educación en su pequeña ciudad natal, educación bastante deficiente que el joven

estudioso completaba con buenas lecturas. Era niño aún cuando la Revolución estalló e interrumpió la quietud de su vida. Sù padre fué arrestado en 1794, pero tuvo la suerte de escapar a las injustas matanzas, recobrando la libertad después de un año de encierro.

Su primer cuidado fué entonces de ocuparse de la educación de su hijo y, a pesar del estado de miseria y de agitación en que se encontraba el país, decidióse a enviarlo a un colegio de París.



GAY - LUSSAC

Dos años más tarde (1797), el joven Gay-Lussac ingresó en la Escuela Politécnica de la que salió en 1800 para entrar como ayudante de laboratorio de BERTHOLLET, quien no tardó en descubrir en su joven colaborador las facultades propias de los grandes sabios. Sin abandonar el laboratorio de BERTHOLLET, Gay-Lussac aceptó el puesto de repetidor del célebre FOURCROY.

Tenía veintiseis años cuando el Instituto lo eligió, conjuntamente con BIOT, para efectuar la primera ascensión

aerostática que se realizara en Francia con fines exclusivamente científicos. Este viaje, en que los jóvenes se elevaron a cuatro mil metros, se realizó en agosto de 1804 y al mes siguiente Gay-Lussac hizo solo una segunda ascensión en la cual llegó a más de siete mil metros y realizó interesantes observaciones sobre la variación del magnetismo terrestre, sobre la temperatura, la presión y el estado higrométrico de la atmósfera.

En el mismo año de 1804, Gay-Lussac conoció a HUMBOLDT que volvía de su célebre viaje de América del Sur, y escribió con él una importante memoria sobre eudiometría. Al año siguiente, los dos colaboradores y amigos emprendieron un viaje de más de un año por Italia, Suiza y Alemania, en el curso del cual Gay-Lussac conoció a MORICHINI (1) en Roma y al geólogo LEOPOLDO DE BUCK que acompañó a los sabios viajeros a Nápoles, a Florencia donde visitaron a FABBRONI, a Bolonia, a Milán, donde visitaron a VOLTA, a Suiza, a Gotinga donde fueron recibidos por el naturalista BLUMENBACH (1752-1840) y en fin a Berlín, donde Gay-Lussac pasó el invierno en la casa de HUMBOLDT, en la intimidad del químico KLAPROTH y del físico ERMAN (2).

(1) DOMINGO MORICHINI (1773-1836), físico italiano, fué precursor de FARADAY cuando buscó establecer una relación entre la electricidad y la luz (1813), realizando las primeras investigaciones serias hechas en ese sentido. (Véase FARADAY).

(2) P. ERMAN (1764-1851), físico alemán, se ocupó especialmente de electricidad. Es autor de una teoría de la pila de VOLTA, en que admite, como la de DAVY, el contacto y la acción química como causas de la corriente, pero Erman daba más importancia que DAVY al contacto. Volveremos a encontrar a este sabio como precursor de OHM por su interesante concepto de la conductibilidad unipolar (1806). Su nombre figura también como precursor de LIPPMANN en el invento del electrómetro capilar, debido a sus experimentos sobre polarización del mercurio. Fué además uno de los primeros investigadores de un problema que preocupó a todos los sabios del siglo XIX: la conductibilidad del agua. Erman demostró que cuanto más pura sea el agua menos conductora se vuelve y que la intensidad química es proporcional al poder conductor. Fué también ERMAN quien demostró (1807) que las llamadas "pilas secas" de BEHRENS o de ZAMBONI no son secas, pues interviene en ellas la humedad atmosférica captada por materiales higrométricos. P. ERMAN no debe ser confundido con A. J. ERMAN (1806-1851), físico de Berlín también, y que se ocupó de magnetismo terrestre.

En 1806, Gay-Lussac volvió a París con un importante bagaje de observaciones sobre magnetismo, metereología y química; fué elegido miembro de la Academia de Ciencias en reemplazo de BRISSON (1) y su primera obra fué entonces, su célebre estudio de la dilatación de los gases.

En 1807, BERTHOLLET fundó la Sociedad de Arceuil, academia científica privada a la que nos hemos referido varias veces, y Gay-Lussac fué uno de sus primeros socios. En el primer tomo de las memorias publicadas por esa sociedad se encuentra el estudio de magnetismo terrestre que HUMBOLDT y Gay-Lussac hicieron en colaboración durante su viaje.

En el segundo tomo, Gay-Lussac publicó su "Memoria acerca de la combinación de substancias gaseosas entre sí", que contiene las célebres leyes de Gay-Lussac, magnífico complemento de la teoría atómica.

En 1808, mientras se construía la enorme pila que Napoleón hacía instalar en la Escuela Politécnica, Gay-Lussac y el gran químico THENARD estudiaban los descubrimientos de DAVY y especialmente su aislamiento del potasio y del sodio, y llegaron bien pronto a perfeccionar la preparación de tal modo que estos dos metales, que DAVY sólo conseguía en pequeñas cantidades, pudieran proporcionarse en abundancia. En estos peligrosos experimentos que por poco costaron la vista a Gay-Lussac, los dos químicos separaron el boro del ácido bórico, descubrieron la composición del ácido fluorhídrico sin poder aislar el flúor (elemento que sólo fué separado por MOISSAN) (2) y descubrieron el ácido fluobórico.

En 1809, observaron, antes que DAVY, que el cloro

---

(1) MATEO JACOBO BRISSON (1723-1806), físico y naturalista francés, reemplazó al Abate NOLLET en el Colegio de Navarra. Se recuerda su tratado sobre el peso específico (1787) y su traducción de la "Historia de la Electricidad" de PRIESTLEY con anotaciones propias en que defiende la teoría eléctrica de NOLLET y ataca a FRANKLIN como lo hiciera su predecesor, el abate.

(2) ENRIQUE MOISSAN (París 1852-1907), licenciado en física, farmacéutico y doctor en ciencias, fué un gran químico. Aisló el flúor; construyó el primer horno eléctrico (1892) de aplicación cien-

es un cuerpo simple y no "ácido muriático oxigenado" como lo sostenían los más grandes químicos del tiempo, pero los jóvenes sabios no se atrevieron a sostener sus opiniones en oposición a sus maestros y DAVY conquistó toda la gloria del descubrimiento.

En el mismo año de 1809, Gay-Lussac fué nombrado profesor de química en la Escuela Politécnica, y de Física en la Sorbona.

En 1811, estudió el iodo casi simultáneamente con DAVY; en 1815, descubrió el cianógeno; en 1816, inventó su barómetro de sifón; de 1818 a 1823, escribió sus observaciones e hipótesis de meteorología; poco después inventó su alcoholímetro, un clorómetro y un alcalímetro.

En 1832, cambió su cátedra de física en la Sorbona por la de química en el Jardín de Plantas y, en 1839, fué hecho Par de Francia.

Aun prescindiendo de su enorme obra química y meteorológica que no nos incumbe estudiar aquí, la obra física de Gay Lussac sería suficiente para perpetuar su gloria. En el calor: la dilatación de los gases y de los líquidos, la sobrefusión, la tensión del vapor, la densidad de los gases, la ebullición y la influencia del recipiente; en electricidad: el estudio de la pila y de la electrólisis, una importante memoria acerca de los pararrayos y un profundo estudio del magnetismo terrestre; la higrometría, la influencia de la luz en las reacciones químicas, la capilaridad, el invento del barómetro de sifón y del alcoholímetro... he aquí los puntos sobresalientes de la obra física de Gay-Lussac sobre algunas de las cuales debemos insistir.

---

tífica y realizó numerosos experimentos de química, entre los cuales se hicieron populares sus ensayos de producción artificial del diamante. Se recuerdan también su método de determinación de la densidad de los gases (CHWOLSON, t. II, pág. 24), que imaginó en 1904 con BINET DU JASSONEIX y su método de liquefacción de los gases en colaboración con DEWAR, en 1897 y 1903 (CHWOLSON, t. VII, pág. 296-7). Cuando Moissan murió, era profesor en la Sorbona (1900), miembro de las Academias de Medicina (1888) y de Ciencias (1891) y recién volvía de Suecia, donde había ido a recibir el premio Nobel (1906).

Hemos visto que DALTON estudió la dilatación de los gases antes que Gay-Lussac, pero que éste, al empezar sus experimentos, no conocía los trabajos de su colega inglés. Esto explica por qué, aunque estos dos sabios hayan alcanzado resultados parecidos, sus métodos son absolutamente distintos. Mientras DALTON encontraba que en los gases permanentes la dilatación crece en progresión geométrica cuando la temperatura crece en progresión aritmética, Gay-Lussac enunciaba la célebre ley que lleva su nombre:

"Todos los gases permanentes expuestos a temperaturas iguales bajo la misma presión, se dilatan de "la misma cantidad. La extensión de su dilatación "común desde 0° hasta 100° es igual a 0.375 de su volumen a 0°, a presión constante. Entre estos dos límites la dilatación de los gases es exactamente proporcional a la dilatación del mercurio" (1). O sea que "todos los gases se dilatan: 1° igualmente, 2° uniformemente y 3° independientemente de la presión".

Esta ley se expresa por la fórmula:

$$V_t = V_o \ (1 + \alpha t)$$

De esta ecuación Gay-Lussac dedujo también el cero absoluto, propuesto simultáneamente por DALTON, pero cuyo gran valor sólo será proclamado con la escala normal de KELVIN (1853).

El aparato empleado por Gay-Lussac para establecer el valor de α era en principio un termómetro de gas con una gota de mercurio como índice; se sumergía ese aparato en hielo fundente y luego en agua hirviendo (2), pero la construcción del aparato y sus manipulaciones tan sencillas en principio necesitaban precauciones enormes. La primera precaución que debe tomarse es que el aparato esté perfectamente graduado, y para esta operación Gay-Lussac imaginó métodos de corrección de las irregularidades del cali-

(1) BIOT, "Tratado de Física", t. I, pág. 233.
(2) CHWOLSON, t. VI, pág. 149.

braje del tubo que se aplican también a la graduación de los termómetros en general (1); otras precauciones se imponen para conocer la capacidad del aparato, para secarlo perfectamente, para no introducir más que gases perfectamente secos, para que los termómetros y el aparato reciban exactamente la misma temperatura, etc,... pero para todas estas dificultades, Gay-Lussac, experimentador minucioso, supo imaginar procedimientos ingeniosos (2).

Gay-Lussac encontró así el valor de 0.00375 que coincidía con el valor encontrado por DALTON (0.00373) y que fué comprobado por DULONG y PETIT que extendieron la observación más allá de 100° empleando el mismo aparato de Gay-Lussac, pero reemplazando el agua por aceite. El valor encontrado por Gay-Lussac era demasiado elevado; POUILLET, poco después de esos experimentos, inventó un "pirómetro de aire" y encontró un valor más exacto que el de Gay-Lussac, pero creyó que la diferencia se debía a un error de observación de su parte; RUDBERG, en 1837, encontró el valor de 0.003646; MAGNUS (véase), en 1842, encontraba 0.003668; REGNAULT calculó, para el aire, 0.003665; luego JOLLY, CHAPPUIS, HOFFMANN, MENDELEIEFF, TRAVERS, JACQUEROD y otros aportaron mayor exactitud a esta determinación (3). MAGNUS consideraba que el error de Gay Lussac se debía a que la gota de mercurio no forma un cierre perfecto para el gas, pero ARAGO hizo notar que en este caso, como la presión interna del aparato era mayor que la presión atmosférica exterior, el gas hubiera salido del aparato y el resultado de Gay Lussac hubiera sido inferior a la realidad en vez de serle superior; ARAGO atribuyó entonces el error a cierta cantidad de agua que permaneció adherida al cristal a pesar de todas las precauciones tomadas.

Estas pequeñas correcciones del valor de α no atacaban la ley de Gay-Lussac en su principio; pero cuando REG-

(1) CHWOLSON, t. VI, pág. 149.

(2) Para el detalle de estas operaciones, léase BIOT, "Tratado de Física", t. I, págs. 229-236.

(3) CHWOLSON, t. VI, págs. 149-158.

NAULT demostró la inexactitud de la ley de Boyle-Mariotte, la ley de Gay Lussac ya no podía ser considerada tampoco como rigurosamente exacta. En efecto, la inexactitud de la ley de Boyle-Mariotte significa que la dilatación de un gas a presión constante no es absolutamente igual a su aumento de presión a volumen constante y que el coeficiente de dilatación no es independiente de la presión. Del hecho que algunos gases sean más compresibles y otros menos de lo indicado por la ley de Boyle-Mariotte, resulta que en algunos gases el coeficiente de dilatación térmica (presión constante) es mayor que el coeficiente térmico de presión (volumen constante) mientras en otros casos pasa lo contrario.

Gay-Lussac determinó la densidad de los gases, o mejor dicho de los vapores, por un método original. Supóngase un barómetro de cubeta en que el tubo, de menos de 76 cts., esté en consecuencia, completamente lleno de mercurio. Se introduce en este tubo una ampolla que contiene un peso conocido del líquido cuyo vapor se estudia; se calienta el mercurio, la ampolla estalla con la presión del vapor interior y este vapor hace bajar el mercurio en el tubo. Para conocer la densidad del vapor basta dividir el peso líquido de la ampolleta por el volumen ocupado por el vapor, y se pueden aplicar las leyes de Boyle-Mariotte y de Gay-Lussac para calcular esa densidad a 0° y 760 mm. de presión. Este método fué perfeccionado por HOFFMANN (1).

Gay-Lussac en todos sus estudios sobre el vapor demostró que, contrariamente a lo que se había creído hasta entonces, los gases y los vapores no tienen propiedades distintas siempre que el vapor esté suficientemente alejado de su estado de saturación.

Confirmó así la ley de DALTON en su estudio de la difusión de los vapores.

Fué él también quien señaló el primero (1802) la identidad entre la expansión de los gases y la difusión de los

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 24.

líquidos, punto relacionado con los célebres estudios de difusión de ósmosis de GRAHAM, VAN'T HOFF y PFEFFER.

Fué en 1807 que Gay-Lussac realizó el experimento del cual deriva la ley de JOULE. Poniendo en comunicación dos globos, uno vacío y otro lleno de aire, se observa que un barómetro colocado en el globo vacío tiene un ascenso idéntico al descenso de otro barómetro en el globo lleno. También demostró que en una bomba de aire, cada golpe de émbolo provoca una baja de temperatura mientras que todo reingreso de aire significa un ascenso de temperatura. Veremos más adelante como estos experimentos de Gay-Lussac influyeron sobre la termodinámica en la obra de JOULE y en la de MAYER y dieron lugar a una discusión de prioridad entre estos dos sabios.

Gay-Lussac estudió el interesante fenómeno de la sobrefusión que FAHRENHEIT había observado en 1742 y que BLACK y DE MAIRAN también habían estudiado; y llegó a hacer descender a 12° C. la temperatura de agua destilada cubierta con una capa de aceite y colocada en el vacío, sin que se congelara (1).

Después de Gay-Lussac, este fenómeno fué estudiado por DESPRETZ y DUFOUR quienes llegaron a 20° bajo cero, por GERNEZ (2) (1882), TAMMANN (1897) que estudió la sobrefusión en 153 substancias, por OSTWALD y por COPPET (1907) quien desde 1875, defendía una teoría cinética de la sobrefusión.

En 1817, Gay Lussac descubrió la influencia que puede tener el vaso sobre el punto de ebullición del líquido contenido e hizo observar que el punto de ebullición es más alto en un recipiente de cristal que en otro metálico.

(1) CHWOLSON, t. 7, pág. 200; GANOT, pág. 241.

(2) DESIRE GERNEZ (1834-1910), fué discípulo de SAINTE CLAIRE DEVILLE; profesor de física en París; estudió el calor y realizó interesantes experimentos sobre la sobrefusión (GANOT, pág. 241) y estableció la ley de la velocidad de la solidificación del líquido sobrefundido, ley de la que TAMMANN hizo un estudio crítico. Estudió la influencia del aire contenido en un líquido sobre el punto de ebullición de éste, influencia observada en 1772 por DELUC.

Debe notarse que la Sociedad Real de Londres, en una memoria de 1777, insistía sobre la necesidad de colocar el termómetro en el vapor y no en el líquido mismo, lo que permite suponer que sus miembros hayan conocido el fenómeno descubierto por Gay-Lussac y estudiado por ACHARD (1), MUNKE, RUDBERG y MARCET (2).

Gay-Lussac fué el primero en ocuparse de la tensión del vapor debajo de 0° C, pues ZIEGLER (1759), BETANCOURT (1792), DALTON (1805) y WATT (1814) lo hicieron a temperaturas más elevadas. El método que empleó Gay-Lussac no era sino una modificación del método de WATT. Este sabio había imaginado introducir agua encima de la columna de mercurio de un barómetro de cubeta y rodear la parte superior del tubo barométrico con un líquido de temperatura conocida. Gay-Lussac adoptó el mismo dispositivo pero encorvó la parte superior del barómetro hasta que su punta estuviese un poco más baja del nivel del mercurio y sumergió esta parte en una mezcla refrigerante. Hizo evaporar el agua depositada en el mercurio y el vapor se condensaba en la punta enfriada; una vez evaporada toda el agua, la parte que aún quedaba en estado de vapor tenía la tensión que corresponde a la temperatura de la mezcla refrigerante. (3)

Gay-Lussac fué el primero en señalar (1802) la necede las correcciones en las lecturas barométricas y más tarde (1820) WINKLER publicó sus conocidas tablas de correcciones.

En capilaridad, se recuerda que Gay-Lussac demostró con la balanza la exactitud de la afirmación de WEITBRECHT (1702-1747) de que existe una atracción entre el vidrio y el líquido.

(1) ACHARD (Berlín 1753-Kunern 1821), de orígen francés, era director de la Cátedra de Física en la Academia de Ciencias de Berlín.
(2) CHWOLSON, t. VII, pág. 243.
(3) BIOT, "Tratado de Física", t. I, pág. 155; CHWOLSON, t. VIII, pág. 14.

Hemos dicho ya (véase LAPLACE) que Gay-Lussac adoptó el método propuesto por LAPLACE de determinar la velocidad del sonido por la relación entre los calores específicos ($K = \frac{Cp}{Cv}$)

Gay-Lussac colaboró con ARAGO en las experiencias que éste realizó, a su regreso de Ginebra, sobre desviación de la aguja magnética por la corriente.

Hemos mencionado más arriba los dos viajes aerostáticos realizados por Gay-Lussac; el primero, que hizo en agosto de 1804 con BIOT, no fué muy satisfactorio a pesar de las observaciones higrométricas y termométricas que pudieron realizar estos sabios, pues el objeto principal de la ascensión era observar si la intensidad de la fuerza magnética terrestre disminuía con la altura como lo habían afirmado B. DE SAUSSURE, por observaciones hechas en las montañas, y SACCHAROFF y ROBERTSON en ascenciones en globo; pero el aeróstato de Gay-Lussac y BIOT, que se elevó hasta 4.000 metros, oscilaba y giraba de tal modo que resultó difícil medir con exactitud las oscilaciones de la aguja magnética. En su informe, leído en la Academia de Ciencias, BIOT afirmó sin embargo que "la propiedad magnética no experimenta ninguna disminución apreciable desde la superficie de la Tierra hasta 4.000 metros de altura" y Gay-Lussac confirmó esta observación en su segunda ascensión (setiembre de 1804) en que llegó a 7.000 metros y pudo hacer observaciones más precisas. Sabemos que esta y otras importantes cuestiones meteorológicas y de magnetismo y electricidad se están estudiando en nuestros días, haciéndose con este fin arriesgadas ascensiones a la estratósfera, ascensiones iniciadas por el profesor de Bruselas, PICARD.

STEPHENSON
(1781-1843)

La locomotora.

JORGE STEPHENSON, nació en Wylam cerca de Newcastle, en 1781, y murió en Tapton en 1843.

Hijo de un fogonero de una "bomba de fuego" en una mina, su educación fué precaria, y pasó varios años cuidando ganado en el campo. A los catorce años, empezó a trabajar en la mina y su extraordinaria inteligencia lo hizo sobresalir de tal modo que, tres años más tarde, tenía el puesto de mecánico de la misma máquina, de la cual su padre era fogonero.

Concurría así mismo a clases nocturnas y se inició en el estudio de la construcción de las máquinas de vapor.

Enviudó, en 1803, a los tres años de casado y pocos meses después del nacimiento de su hijo Roberto. Fuése entonces a Escocia, donde trabajó durante varios meses, pero volvió a la mina de Killingworth, para poder vivir más cerca de su padre, quien había perdido la vista. Trabajó activamente durante varios años y los grandes servicios que prestó a la compañía explotadora de la mina le valieron ser nombrado ingeniero en 1812. Pudo desde entonces, dar más tiempo a sus estudios y proporcionar una buena educación a su hijo, a quien mandó primero a un colegio y luego a la Universidad de Edimburgo.

Stephenson visitó varias minas donde los vagones de carbón eran arrastrados por máquinas de vapor movibles, y propuso a sus superiores construir una máquina más práctica. Sólo uno de los propietarios de la mina se interesó en el proyecto del joven ingeniero, quien después de dos años de esfuerzo, terminó la construcción de su primera locomotora a la que dió el nombre de "Blucher" (1814).

La primera idea de una máquina de vapor automóvil parece deberse a NEWTON. Se encuentra en efecto en la "Explicación de la filosofía newtoniana", un proyecto de coche que lleva una caldera esférica de la que se escapa un fuerte chorro de vapor, de tal modo que el coche sea puesto

en movimiento por el efecto de la reacción del vapor contra la atmósfera. Este curioso invento no puede ser tomado seriamente en cuenta cuando se buscan los orígenes de la locomoción a vapor y debe considerarse que éstos sólo se inician realmente con los perfeccionamientos aportados por WATT. En 1769 y 1770, sin embargo, el oficial francés NICOLAS CUGNOT (1), construyó dos coches de vapor



JORGE STEPHENSON

que destinaba a usos puramente militares, y de los cuales uno puede verse todavía en perfecto estado en el Conservatorio de Artes y Oficios de París. Este coche está formado por dos gruesos largueros, con dos ruedas traseras y una delantera, siendo ésta accionada por dos cilindros de simple efecto.

(1) NICOLAS CUGNOT (1725-1804), ingeniero francés. Era ingeniero militar en Alemania cuando tuvo la idea de su conocido invento. Volvió a Francia en 1763 y dos años más tarde construyó su primer coche de vapor para el mariscal de Sajonia. El modelo al cual nos referimos aquí, fué construído en 1770 a pedido del ministro Choiseul. Pensionado en 1772 por Luis XV, la revolución lo privó de este medio de vida y Cugnot estuvo en la miseria en Bruselas hasta 1800, cuando Napoleón volvió a hacerle pagar la pensión que elevó de 600 a 1.000 libras.

En el museo de South Kensington de Londres se conserva conjuntamente con la primera máquina de WATT, una locomotora construída en 1784, por su empleado y amigo MURDOCH (1). Es un coche de tres ruedas altas y finas, cuyas dos traseras están en comunicación con el balancín de un cilindro de simple efecto; alcanzaba este coche una velocidad de cerca de trece kilómetros por hora, pero fué dejado casi sin aplicación, pues MURDOCH y WATT dedicaban especialmente su atención a la construcción de motores fijos. Dos años más tarde, GUILLERMO SYMINGTON construyó también en Inglaterra, una locomotora que no tuvo mayor éxito.

En Norte América, EVANS (2) en 1801, empezó la construcción de máquinas de vapor sin condensación, de un tipo nuevo que aplicó a una especie de lancha provista de ruedas y de una rueda de paletas, de modo que podía emplearse para la locomoción sobre caminos y la navegación de ríos.

En 1803, un discípulo de MURDOCH, RICARDO TREVITHICK, expuso en Londres un coche de vapor que había dado pruebas de suficiencia realizando un viaje de casi ciento cincuenta kilómetros, en pocas horas.

El entusiasmo por los coches de vapor se volvía cada vez más grande, y, en los primeros años del siglo XIX, en Inglaterra sobre todo, los caminos eran recorridos por máquinas de modelos muy distintos, como las de GRIFFITH, GORDON, GURNEY (3), HILL, BURSTALL, OGIE,

---

(1) GUILLERMO MURDOCH (Bellowhill, Ayreshire, 1754-Sycomore Hill 1839), ingeniero inglés, empleado de WATT. Se ocupó del alumbrado de gas. (Ver LEBON).

(2) OLIVER EVANS. Inventor americano, nació en Newport en 1755 y murió en Nueva York en 1819. Aprendiz de un herrero, se inició solo en los secretos de la mecánica y, en 1800, inventó su "coche sin caballos" pero prefirió aplicar su motor a vapor a los molinos

(3) GOLDSWORTHY GURNEY. Nació en Cornuallas en 1793 y murió en 1875 Estudió medicina y se ocupó de física, química y mecánica. Ha hecho valer ciertos derechos al descubrimiento de la desviación de la aguja magnética por la corriente voltaica y al invento de la caldera tubular y del proyector de vapor. Su coche de vapor fué construído en 1829. En 1863, el rey de Inglaterra premió su larga vida de labor con un título de nobleza.

SUMMERS, DANCE, HANCOCK, ANDERSON, JAMES, MACERONE, HEATON, y esas máquinas alcanzaban ya velocidades de treinta a cuarenta kilómetros por hora. Conjuntamente con los progresos realizados por estos coches de vapor, imaginaban verdaderas locomotoras sobre rieles, y TREVITHICK, que acabamos de citar, fué uno de los primeros en construir un ferrocarril, en 1804, con una máquina de vapor sin condensación.

No se puede pues considerar a Jorge Stephenson como el único inventor de la locomotora sino como su perfeccionador y propagandista, como WATT lo fué de la máquina de vapor.

En 1814 pues, Stephenson construyó su primera locomotora, que sólo alcanzaba una velocidad de seis kilómetros por hora, pero que arrastraba ocho vagones cargados. Al año siguiente, imaginó hacer salir el vapor ya utilizado, por la misma chimenea que el humo y perfeccionó considerablemente la forma de los rieles. Diez años más tarde, cuando se inauguró la línea de ferrocarril de Stockton a Darlington (1825), su locomotora arrastró delante de una muchedumbre entusiasmada noventa toneladas de carbón a la velocidad de casi veinte kilómetros por hora.

Esas locomotoras no tenían aún otro uso que el de tirar los vagones de carbón y para los viajes se empleaban de preferencia diligencias o coches de tracción animal pero que corrían sobre rieles. Cuando se decidió establecer vías para unir así las ciudades de Liverpool y Manchester, Stephenson fué encargado de la obra, levantándose una acalorada discusión para saber si sobre este camino se harían rodar vagones de tracción animal o "a vapor". Muchos fueron los que ridiculizaron a los partidarios del nuevo medio de transporte y Stephenson tuvo que contestar a objeciones tan numerosas como absurdas. Se nombró una comisión en la Cámara de los Comunes para decidir si el Parlamento podía otorgar la autorización necesaria para que el atrevido proyecto se realizara. Felizmente la fe absoluta de los partidarios del vapor venció todos los obstáculos, y cuando en 1829, la empresa llamó

a concurso para elegir la mejor locomotora, Stephenson fué proclamado vencedor, con su "Rocket" (El Cohete).

Las principales particularidades de esa locomotora eran: cilindros inclinados, en vez de ser verticales como en las máquinas anteriores, y que accionaban el par de ruedas delanteras; la caldera tubular, como la que había inventado el francés SEGUIN; su peso de cuatro y media toneladas, su velocidad máxima de cincuenta y seis kilómetros por hora y su velocidad media, de veinticuatro kilómetros. Había sido construída en la fábrica de Roberto Stephenson quien, después de una estada en Sud América, había vuelto a Inglaterra, en 1827, para ayudar a su padre, en la instalación de la línea Manchester-Liverpool.

El éxito obtenido fué enorme y bien pronto se solicitó de todas partes los servicios de los dos célebres ingenieros, pero Jorge Stephenson no accedió más que a dos pedidos, uno de Leopoldo I, rey de los belgas, para instalar la línea de Bruselas a Malinas, y otro para una instalación en España.

Jorge Stephenson se retiró a Tapton House, dejando todos sus cargos a su hijo Roberto, quien, a la muerte de su padre, continuó realizando grandes perfeccionamientos en la construcción de locomotoras, y entre ellos, el que le valió más gloria fué el distribuidor que es todavía apreciado por su gran sencillez.

Los nombres de Jorge y Roberto Stephenson deben pues quedar unidos en la historia como lo fueron en la vida, ya que recuerdan a dos enérgicos trabajadores que han hecho hacer a la Humanidad uno de sus mayores progresos.

POISSON
(1781-1840)

Electricidad: Teoría eléctrica de dos flúidos. Distribución de la electricidad en los conductores. Problema de las dos esferas. Teoría del magnetismo. Magnetismo terrestre. Compensación de la desviación de las brújulas. Teoría del calor. Teoría de la capilaridad.
Acústica: Vibraciones de las cuerdas, varillas, tubos, membranas. Propagación del sonido en los líquidos.
Optica: Teoría de las emisiones. Estudio de las ondas longitudinales.
Mecánica: Resistencia al movimiento del péndulo. Desviación de la caída de los cuerpos.

SIMEON DIONISIO POISSON, matemático francés, nació en 1781 en la pequeña e histórica ciudad de Pithiviers (departamento de Loiret) y murió en París en 1840.

Su padre, que era Juez de Paz, se ocupó de su primera educación y más tarde lo recomendó a un tío del joven, cirujano en Fontainebleau, para que lo iniciara en su arte; pero Poisson no se sintió con vocación alguna para la cirujía y volvió bien pronto a la casa paterna. Allí, la lectura del "Journal de l'Ecole Polytechnique" le hizo descubrir su vocación por las matemáticas e ingresó en la Escuela Central de Fontainebleau de donde pasó a la Escuela Politécnica, en 1789, a la edad de diez y siete años, obteniendo el primer puesto en el exámen de ingreso. Se mantuvo a la cabeza de su promoción durante todos sus estudios y LAGRANGE su profesor de análisis, protegió a este brillante alumno e hizo su presentación en el ambiente científico.

La carrera de Poisson principiaba pues felizmente y se prosiguió gloriosamente. En 1800, fué nombrado repetidor de matemáticas en la Escuela Politécnica; dos años más tarde, fué profesor suplente y, en 1806, profesor titular de análisis en reemplazo de FOURIER. Más tarde, fué nombrado astrónomo de la Oficina de Longitudes (1808), profesor de Mecánica de la Facultad de Ciencias recién fundada (1809),

examinador de artillería en reemplazo de LEGENDRE (1812), miembro del Instituto (1812), examinador de la Escuela Militar de Saint Cyr (1815) y de la Escuela Politécnica (1816), consejero de la Universidad (1820); en 1825, rehusó el título de "Barón" que le diera Carlos X; fué geómetra de la Oficina de Longitudes en reemplazo de LAPLACE en 1827, Par de Francia en 1837; etc., etc.



POISSON

Los puestos que ocupó Poisson, los sabios que fué llamado a reemplazar, los honores que le fueron tributados dan una idea del valor de este sabio quizá más exacta que la que podrá sugerir nuestra simple enumeración de sus obras, pues éstas pertenecen por completo a la física matemática superior y no pueden por consiguiente ser estudiadas aquí.

Además de sus obras, son célebres las discusiones que Poisson sostuvo en la Academia, ya con LAPLACE acerca de la teoría de la capilaridad, ya con FOURIER acerca de la teoría analítica del calor o con FRESNEL por la teoría de las ondulaciones. En esas discusiones, Poisson no defen-

dió siempre las ideas que triunfaron, pero, aún así, en su argumentación se encuentran hipótesis y conceptos que al fin fueron admitidos, muchos años después de su muerte.

ARAGO, en sus "Notices biographiques" da, con el elogio de Poisson, el catálogo de sus obras en que figuran, de 1800 a 1839, trescientas memorias de matemáticas puras y aplicadas a la física, la astronomía y la mecánica, y de las cuales sesenta pueden ser consideradas como de importancia capital para la ciencia. Entre esas numerosas obras citaremos como más importantes en la historia de la física:

"Memoria acerca de las oscilaciones de un péndulo en un medio resistente y tomando en cuenta el alargamiento del hilo", "Acerca de las ecuaciones generales del equilibrio y del movimiento de los sólidos elásticos y de los flúidos" "Del movimiento de los proyectiles en el aire", "De la teoría de las ondas", "Del movimiento de los flúidos elásticos en tubos cilíndricos", "De la relación entre la propagación de las ondas en la superficie del agua y en una lámina elástica", "Vibraciones de láminas elásticas", "Teoría de la acción capilar", "Teoría del sonido", "Teoría de los instrumentos de viento", "Vibraciones de los cuerpos sonoros", "De la distribución del calor en los sólidos", "Del calor radiante", "Teoría matemática del calor", "De la distribución de la electricidad en la superficie de los conductores", "De la distribución de la electricidad en una esfera hueca electrizada por influencia", "Teoría del magnetismo", "De la desviación de la brújula por el hierro de los barcos", etc.

De esas memorias las que han dejado huellas más profundas en la historia de la física son la "Distribución de la electricidad", la "Teoría del calor", la "Teoría de la capilaridad" y sus estudios acerca de las vibraciones sonoras.

En electricidad, Poisson era partidario de la teoría de los dos flúidos a los que atribuía una constitución evidentemente inspirada por las ideas newtonianas: las moléculas de los flúidos distintos se atraen y las de un mismo flúido se repelen siguiendo la ley del cuadrado de la dis-

tancia. Aplicando los descubrimientos de COULOMB, llegó a equilibrar una teoría matemática que, si no era exacta en su hipótesis, lo era en su desarrollo y en muchas de sus consecuencias. Entre estas consecuencias, se encuentra el problema de la distribución de la electricidad en los conductores que fué resuelto por primera vez por Poisson (1811) después de haber sido estudiado experimentalmente por COULOMB, y este estudio de Poisson fué continuado por numerosos físicos entre los cuales figuran HANKEL (1), KIRCHHOFF, NEUMANN, LORD KELVIN y muchos sabios contemporáneos.

El problema más interesante de dicho estudio es el de las dos esferas (2) que Poisson resolvió partiendo de la hipótesis de que la electricidad se distribuye simétricamente alrededor de la línea que une los centros de esas esferas y llegando a establecer la ecuación que permite determinar los potenciales de las esferas conociendo los de la línea de sus centros. Esta ecuación de Poisson, conclusión principal de su estudio, ha sido completada por los trabajos de DARBOUX (1907) (3) que llega a ella prescindiendo de la hipótesis inicial. BIGEON, partidario de la teoría de FRANKLIN del flúido único, estudió la ecuación de Poisson y demostró que también era aplicable a esa hipótesis.

Poisson diferenció los cuerpos conductores de los cuerpos aisladores considerando que en los primeros los flúidos eléctricos se mueven con libertad, contrariamente a lo que ocurre en los segundos. Considerando en fin la acción eléctrica como un conjunto de atracciones y repulsiones, aplicó a su estudio la teoría del potencial de EULER, LAGRANGE y LAPLACE y dió así al estudio de la teoría de la elec-

---

(1) GUILLERMO HANKEL (Ermsleben 1814-Leipzig 1899), físico alemán, fué profesor en Halle y en Leipzig. Se ocupó de termoelectricidad, de electroóptica, de electricidad atmosférica. Perfeccionó el electrómetro y la pila seca de BEHRENS; hizo importantes estudios de piezoelectricidad, de piroelectricidad y de termoelectricidad y estableció una teoría mecánica de electrodinámica muy parecida a la teoría de GRASSMANN.

(2) CHWOLSON, t. IX, pág. 149.

(3) JUAN G. DARBOUX (Nimes 1842-1917), célebre matemático francés.

tricidad nuevos recursos de abundantes consecuencias. Fué por esta teoría de Poisson que GREEN fué atraído al estudio de la electricidad; y la célebre teoría de GAUSS, aunque por caminos distintos, está íntimamente unida a las obras de Poisson y de GREEN, destacándose también por su aplicación de la teoría del potencial.

En el magnetismo, Poisson estableció, en 1826, una teoría según la cual: todos los cuerpos contienen los dos flúidos magnéticos, todos se magnetizan por influencia, y conservan, después de retirarse el imán inductor y durante breve tiempo, un poco de magnetismo inducido. De esta teoría, basada en cálculos matemáticos (1), Poisson sacaba como consecuencia el "magnetismo por rotación" observado en 1824, por ARAGO, quien se mostró bastante desilusionado al ver que con algunas ecuaciones se llegaba a un descubrimiento que tantas horas de paciente observación le había costado. La teoría de Poisson y su aplicación del magnetismo por rotación no fueron admitidas y menos aún, cuando FARADAY explicó el mismo fenómeno por la inducción eléctrica.

WEBER, al hacer la discusión analítica de las teorías del magnetismo demostró la inexactitud de la base de la teoría seguida por COULOMB y Poisson.

De la teoría del magnetismo de Poisson se recuerda especialmente su ley del magnetismo inducido que puede ser expresada:

$$\frac{4\pi J}{3} = p.\ F$$

siendo J el momento magnético por unidad de volumen, F el vector de la intensidad magnética, y p una constante característica de la materia inducida.

Poisson imaginó, en 1828, un método (2), perfeccionado por GAUSS en 1832, para poder comparar la inten-

(1) CHWOLSON, t. XI, pág. 390
(2) CHWOLSON, t. XI, pág. 658.

sidad magnética en distintos lugares de la Tierra por medio de las oscilaciones de la aguja como lo hiciera HUMBOLDT (1), pero sin necesidad de operar siempre con la misma aguja, lo que era causa de errores como consecuencia de la pérdida de fuerza magnética de la misma.

Poisson fué uno de los primeros en ocuparse de la compensación de las desviaciones de la brújula por las partes de hierro en un barco. Sus investigaciones en este sentido no pudieron ser completas por la insuficiencia de conocimientos de los fenómenos magnéticos en esa época, pero encabezan dignamente la historia de esta cuestión, historia en que figuran los nombres de BARLOW, AIRY (2), SMITH, FLINDERS y KELVIN (3).

La "Teoría del calor" (4) de Poisson lleva el mismo nombre que la obra genial de FOURIER y lo hizo con toda intención pues si es innegable que Poisson reconoció el va-

---

(1) HUMBOLDT con una misma aguja obtuvo 245 oscilaciones en 10 minutos en París y sólo 211 en el Perú y observó una disminución regular al acercarse al Ecuador magnético. (BIOT, "Tratado de Física", t. III, pág. 81).

(2) JORGE AIRY (Alnwick, Inglaterra, 1801-Londres 1892), astrónomo inglés, estudió en la Universidad de Cambridge de la que fué profesor y director del Observatorio hasta ocupar, en 1836, la dirección del Observatorio de Greenwich.

Su estudio de la influencia del hierro del barco sobre la brújula es de 1839. Las "espirales de Airy" (CHWOLSON, t. V, pág. 218) son una comprobación de la reflexión elíptica descubierta por FRESNEL y estudiada por Airy (1833), JAMIN (1840) y CAUCHY. Airy ha dado, en 1837, la primera teoría exacta del arco iris, en reemplazo de la teoría inexacta que DESCARTES emitió précisamente 200 años antes y que aún se estudia generalmente; la teoría de Airy fué estudiada por STOKES (1850), por PERTNER y por MASCART (1888). (Véase CHWOLSON, t. IV, pág. 358 y sigtes.).

En 1846, Airy trató de establecer una teoría de la rotación electromagnética del plano de polarización, descubierta por FARADAY en 1845. En 1866, determinó la densidad media de la Tierra comparando su aceleración en la superficie y a cierta profundidad (CHWOLSON. t. I, pág. 396) y observó que la gravedad aumenta con dicha profundidad (GANOT, pág. 94). Como obras físicas de Airy, se recuerdan todavía su "Teoría de las ondulaciones" (1866); "Sonido y vibraciones atmosféricas" (1869); "Tratado de Magnetismo" (1870); "Estudio de telegrafía eléctrica"; su ecuación de la intensidad de la luz después de reflexiones múltiples (CHWOLSON, t. IV, pág. 403), etc

(3) GANOT, pág 594

(4) CHWOLSON, t VI, pág. 303 y sigtes.

lor matemático de la obra de FOURIER y coincidió con él en muchas partes, es también evidente que quiso hacer una obra de igual exactitud analítica partiendo de hipótesis físicas distintas y llegando a deducciones a veces discordantes con las de FOURIER. Como simple ejemplo citaremos la suposición de FOURIER de que la superficie de la Tierra es la corteza enfriada de un centro en fusión, mientras Poisson supone que la solidificación del globo no empezó por su periferia sino por su centro; de allí nació una fecunda discusión entre esos dos grandes sabios.

Algo parecido pasó entre Poisson y LAPLACE a propósito de la teoría de la capilaridad. Recordamos que este último sabio había estudiado la capilaridad (1806-1807) fundando su teoría sobre la cohesión molecular y la adherencia del cuerpo, cuya relación se establece por el ángulo de conjunción del líquido con la pared del tubo o de la lámina, y que consideraba este ángulo constante para un mismo líquido y un mismo sólido, constancia no comprobada por la experiencia. Poisson hizo notar en su "Teoría de la capilaridad" que LAPLACE no tomaba en cuenta la diferencia de la densidad del líquido en las distintas profundidades y basó su teoría en la hipótesis de que existe una verdadera tensión superficial y que la mayor densidad de los líquidos en su superficie permite explicar todos los fenómenos capilares. Sabemos que hasta nuestros días no se ha llegado aún a poder afirmar que esta mayor densidad superficial exista en realidad.

Poisson, basándose en la hipótesis de LAPLACE sobre cohesión, hizo también el estudio matemático de la viscosidad, en 1831, o sea nueve años después de NAVIER (1822), pero volveremos a tratar este punto con HELMHOLTZ más adelante. (véase)

En acústica, Poisson estudió ampliamente las vibraciones de las cuerdas (1) y de las varillas elásticas, y completó la teoría de LAGRANGE acerca de los sonidos en los

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 37 y 41.

tubos. Fué también uno de los primeros matemáticos que estudiaran las vibraciones de las membranas elásticas. Entre sus sucesores en este estudio, muchos, y entre ellos LAME, confirmaron los cálculos de Poisson, que tenían además una comprobación en los experimentos de CHLADNI (1).

Poisson también estableció en su teoría general de la propagación del sonido, el caso de la propagación en los líquidos, propagación que no había sido admitida por los sabios hasta que NOLLET demostrara su existencia y cuya velocidad no había sido determinada aún pues el célebre experimento de COLLADON y STURM fué realizado recién en 1828. LAPLACE en fin estudió el mismo problema casi simultáneamente con Poisson.

En óptica, Poisson, lo mismo que MALUS, LAPLACE y BIOT, se opuso a la teoría de las ondulaciones de FRESNEL, pero cooperó sin embargo a su éxito pues, como verdadero sabio, estudió la propagación de las ondas en los medios elásticos "ya que esta cuestión es interesante para una de las teorías de la luz". No admitió la posibilidad de

---

(1) ERNESTO FEDERICO CHLADNI (Wittenberg 1756-Breslau 1827), físico alemán de origen eslavo, doctor en filosofía y derecho, se ocupó de música como aficionado y de allí pasó a la acústica, de la cual es uno de los fundadores. Viajó por toda Europa, viviendo del producto de sus conferencias. Sus obras más célebres son su "Teoría del Sonido" y su "Tratado de Acústica" en que reunió sus principales estudios. Descubrió las vibraciones longitudinales de las cuerdas (1787) y de las varillas (1796) y las vibraciones circulares de las varillas. En estas obras están descritas también sus célebres "figuras acústicas de Chladni" que mostró en la Academia de Ciencias de París en 1809, lo que le mereció la aprobación de LAPLACE y un premio de 6.000 francos de Napoleón (CHWOLSON, t. III, pág. 138). Las figuras de Chladni fueron estudiadas por STREHLKE (1825), SAVART (1828), FARADAY (1831), RAYLEIGH (1880) y ELSAS (1883).

Citemos aún en la acústica, su explicación del eco y de la resonancia (1802), su determinación de los límites de percepción de los sonidos (22.000 vibraciones) y su invento de dos instrumentos de música: el clavicilindro (1790) y el eúfono (1809), aparatos muy ingeniosos pero que no tuvieron aceptación. Fué el primero en explicar las "llamas sonoras" de hidrógeno (1802) descubiertas por DELUC (1787) y construyó una "armónica química" con tubos de distintas longitudes y sonidos.

Además de sus trabajos de acústica, se recuerda un estudio de Chladni sobre meteoros ígneos (1794).

las ondas transversales y su teoría de las ondas longitudinales fué aplicada a la luz por NEUMANN, (véase) quien estableció una teoría más complicada que la de FRESNEL pero que no puede ser considerada inferior ni menos exacta pues explica perfectamente todos los fenómenos luminosos conocidos. Fueron inútiles los esfuerzos de los sabios que trataron de demostrar la superioridad teórica de una u otra teoría. Entre los defensores de la hipótesis de FRESNEL (véase), señalaremos a ANGSTROM, CAUCHY, STOKES, LORENTZ, MASCART, y, como defensores de la hipótesis de NEUMANN, BABINET, JAMIN, y QUINCKE.

En mecánica, en fin, debemos recordar que Poisson estudió en 1809 la resistencia opuesta por el aire al movimiento del péndulo horizontal y el desplazamiento del aire en los movimientos del péndulo en 1832. Sabemos que este problema había sido tratado por GALILEO, NEWTON (1687), HERMAN (1727), D. BERNOULLI (1730), EULER (1761), COULOMB (1784) y DU BUAT (1786); fué tratado más tarde por AIRY, STOKES y O. E. MEYER. Poisson sometió al análisis, como lo había hecho D'ALEMBERT, el conocido problema de la desviación de la caída de un cuerpo debida al movimiento de la Tierra, cuestión que hemos señalado en las obras de TYCHO BRAHE (1588), NEWTON (1679), GUGLIELMINI (1791), BENZENBERG (1802), REICH (1832); también estudió analíticamente el choque (1816), problema cuya historia seguimos con BALIANI, MARCI y GALILEO en 1638, MARIOTTE en 1717 (obra póstuma) y EULER, en 1746, quien propuso el método que siguió Poisson consistente en hacer derivar el estudio del choque del estudio general de la elasticidad.

Poisson, como CAUCHY (1826), analizó el choque en varas elásticas cilíndricas, y, después de ellos, destacáronse en dicho estudio SAINT VENANT (1867), VOIGT (1882) y NEUMANN (1885).

BREWSTER
(1781-1868)

Kaleidoscopio. Estereoscopio. Teoría de las emisiones. Espectro de absorción. Leyes de Breswter. Polarización por refracción. Lentes escalonadas. Doble refracción en láminas comprimidas. Fluorescencia. Electroimanes de herradura.

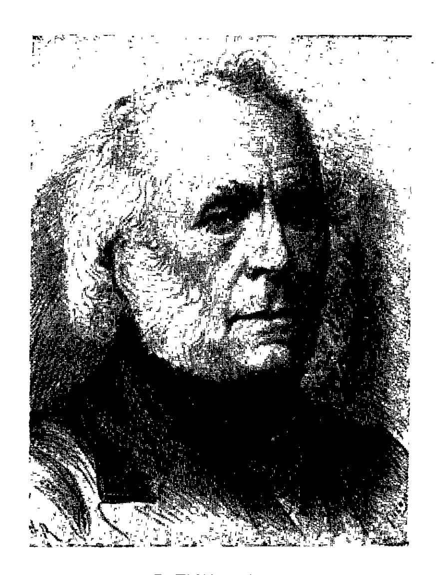
DAVID BREWSTER nació en 1781, en Jedburgh, pequeña y antigua ciudad del Condado de Roxburgh, en Escocia, y murió en 1868.

Pasó la mayor parte de su vida en Edimburgo y en sus propiedades de Escocia. En esa ciudad cursó estudios de preparación a la carrera eclesiástica que felizmente abandonó para dedicarse a las ciencias; en la misma ciudad, empezó en 1800, sus primeros estudios de física que le hicieron entrar en la Sociedad Real de Edimburgo en 1807. Pocos meses después y hasta 1830, se ocupó activamente de la publicación de la "Enciclopedia de Edimburgo" y dirigió también el "Diario científico". Brewster permaneció en su ciudad predilecta, pero su fama se extendió muy pronto a todo el país y al mundo civilizado; las universidades de Aberdeen, Cambridge, Oxford y Durham le dieron el título de "Doctor en Leyes"; la Sociedad Real de Edimburgo lo eligió Secretario; la Sociedad Real de Londres le abrió sus puertas; la Academia de Ciencias de París lo hizo miembro corresponsal (1825) y, más tarde, asociado (1849); el rey de Inglaterra Guillermo IV, le dió título de nobleza y Francia lo condecoró con la Legión de Honor. En 1831, Brewster fué el principal fundador de la Asociación Británica, reunión de sabios ingleses y extranjeros.

Desde 1800, Brewster se ocupó casi exclusivamente de óptica y ha dejado en esta parte de la física numerosas pruebas de su actividad. Su nombre se recuerda especialmente por su invento del kaleidoscopio y del estereoscopio de refracción, por su defensa de la teoría de las emisiones en oposición con YOUNG y con FRESNEL, por su estudio de los espectros de absorción, por las dos célebres leyes

que llevan su nombre e interesan la doble refracción y la polarización, por su pretensión al invento de las lentes escalonadas, su observación de la doble refracción en láminas comprimidas y por un estudio de la fluorescencia.

En historia de la física, debe hacerse una mención especial de sus obras: "La vida de NEWTON" (1831), y "Los mártires de la ciencia: GALILEO, TYCHO BRAHE y KEPLERO" (1841).



BREWSTER

Estudiemos ahora separadamente cada uno de los principales méritos de Brewster, cuya lista acabamos de dar.

Nada de particular debemos decir acerca del kaleidoscopio, curioso aparato que Brewster inventó en 1819. Más interesante es detenernos en su invento del estereoscopio, que deriva de la comprensión de la necesidad de la percepción simultánea de dos imágenes distintas, una en cada ojo, para que la vista nos dé la sensación de relieve. Este fenómeno de la superposición de dos imágenes ya fué entendido

por EUCLIDES en el siglo III antes de Jesucristo, por LEONARDO DE VINCI, por PORTA, que lo estudió detenidamente y parece haber tenido todos los elementos necesarios para el invento del estereoscopic, por GASSENDI, por HALDAT (1) y otros. ELLIOT, en 1834, inició el "período de aplicación" en la historia del estereoscopio (2); pero en dicha fecha ELLIOT sólo "ideó" el aparato, y cuando lo construyó realmente en 1839, WHEATSTONE ya había hecho conocer el estereoscopio de reflexión. Este aparato era muy voluminoso y poco práctico, y en 1844, Brewster evitó esos inconvenientes con el estereoscopio de refracción que, con poca diferencia, es el que usamos en nuestros días (3).

Brewster no pudo hacer aceptar su invento por los ópticos ingleses y fué a París en 1851, para proponerlo a los sabios franceses. El abate MOIGNO (4) se preocupó en hacer conocer el interesante aparato, pero los primeros pasos de su campaña no fueron felices por razones curiosas: el primer sabio que visitó fué ARAGO, quien tenía un defecto de la vista llamado "diplopía binocular" que hacía ver cuatro imágenes en el estereoscopio; después de ARAGO, el abate visitó a SAVART, pero este joven físico era casi

---

(1) HALDAT DU LYS (Lorena 1785-Nancy 1852). Médico y físico francés, profesor de física del Liceo de Nancy, era descendiente de Juan de Lys, hermano de Juana de Arco. Es conocido sobre todo por el aparato de hidrostática que lleva su nombre y que se encuentra en todos los gabinetes.

Haldat se ocupó también de acústica, de magnetismo y de óptica y fué el primero que tratara de construir un estereoscopio.

(2) Véase esta historia en "Les Merveilles de la Science,, de FIGUIER, t. III, págs. 189-208.

(3) GANOT, pág. 556.

(4) El abate FRANCISCO NAPOLEON MOIGNO (Guemené, Morbihán 1804-París 1884), matemático y físico francés, fué profesor de un colegio de jesuítas en París (1836). Habiendo recibido la orden de dejar las matemáticas, en las que ya se había destacado, prefirió separarse de la orden de los jesuítas (1834) pero siguió su carrera eclesiástica y llegó a ser Canónigo de Saint Denis (1783). Fué condecorado con la Legión de Honor en 1864. Se recuerdan varias de sus obras sobre física y entre ellas: "Tratado de Telegrafía Eléctrica" (1849), "Repertorio de Optica Moderna" (1850), "Optica Molecular" (1873). Deben mencionarse también: su interesante "Vida del R. P. Secchi" (1879) y su buena traducción del "Calor modo de movimiento" de TYNDALL.

tuerto y poco pudo apreciar las ventajas del aparato; luego le tocó el turno a BECQUEREL quien también era tuerto, y luego a POUILLET, que era bizco. El abate MOIGNO encontró en BIOT a un físico que tenía la vista normal, pero éste rehusó ocuparse del invento; REGNAULT por fin, unió a una buena vista buena voluntad, y mostró el estereoscopio a sus colegas con tal éxito que, meses después, los ópticos de Francia y de Inglaterra se disputaban el derecho de fabricar el instrumento.

Antes del kaleidoscopio y del estereoscopio, Brewster había inventado y perfeccionado varios instrumentos que describió en su "Tratado de los nuevos instrumentos científicos" (1813).

Hemos visto en distintas ocasiones que Brewster fué partidario de la teoría de las emisiones; sólo se convenció de las ventajas de la teoría de las ondulaciones en 1833, mucho más tarde que BIOT, a pesar de haberla atacado con menos entusiasmo que su colega francés. Brewster reprochaba sobre todo a la teoría de FRESNEL de no explicar la formación de las rayas obscuras y claras que se observan en los espectros de los cuerpos incandescentes. En aquella época la historia del estudio del espectro contaba con la simple observación de las rayas obscuras por WOLLASTON (1802), con su estudio más detenido y su clasificación por FRAUNHOFER (1814-1815) y con ciertas afirmaciones de HERSCHEL (1822) y de TALBOT (1834) que pueden ser consideradas como previsiones del análisis espectral (1). Brewster atribuyó entonces las rayas de FRAUNHOFER a la absorción; estudió los espectros de absorción de varios líquidos y gases que colocaba entre la fuente de luz y el prisma; generalizó su aplicación al espectro solar cuyas rayas atribuyó a la absorción por la atmósfera solar y la atmós-

(1) TALBOT dijo en efecto: "Podemos esperar que un día esas experiencias de óptica proyectarán una nueva luz en la química" (1826) y mejor aún: "Cuando en el espectro de una llama aparecen ciertas rayas determinadas, esas rayas son las características del metal contenido en la llama" (1834). (Véase WOLLASTON, FRAUNHOFER, KIRCHHOFF y BUNSEN)

fera terrestre; y más tarde, explicó el fenómeno por la teoría de las ondulaciones.

En doble refracción, Brewster enunció la ley que lleva su nombre y se enuncia generalmente: "En los cristales uniáxicos, el eje óptico coincide siempre con el eje de cristalización" (1).

Más conocida como "Ley de Brewster" es la ley que este sabio enunció a raíz de sus estudios sobre polarización: "La tangente del ángulo de polarización completa es igual al índice de refracción de la substancia reflectora" (2): Esta ley de la tangente también puede enunciarse: "Los ángulos de incidencia y de refracción son complementarios cuando la polarización es completa" o, "Los rayos incidente y reflejado están inclinados sobre la superficie del medio, como lo está el rayo refractado sobre la normal", o todavía "Bajo el ángulo de polarización completa, el rayo reflejado es perpendicular al rayo refractado".

La ley de Brewster fué presentada por él a la Sociedad Real de Londres en 1815 o sea seis años después que MALUS diera la regla siguiente: "El seno del ángulo de polarización de la luz que pasa del vacío a un medio es al seno del ángulo de polarización de la luz que pasa del medio al vacío, como el índice de refracción es a la unidad", o sea que "El rayo completamente polarizado por reflexión es perpendicular al rayo refractado, tanto en la primera como en la segunda superficie de los cuerpos", lo que tiene por consecuencia que: "La luz que cae bajo el ángulo de polarización completa sobre la primera superficie de un medio de superficies paralelas, caerá en la segunda también bajo el ángulo de polarización completa". En el mismo año de 1815, en que Brewster establecía la ley de la tangente, que coincide con la regla de MALUS, ARAGO establecía el teorema general del que la regla de MALUS es un caso particular: "La primera y la segunda superficie de un cuerpo po-

(1) GANOT, pág. 575.
(2) CHWOLSON, t. V, pág. 63.

larizan igualmente la luz en los ángulos bajo los cuales estas superficies la reflejan igualmente".

Todo esto nos muestra otra vez, hasta qué punto eran paralelos los estudios de MALUS, ARAGO y Brewster y en general de todos los grandes físicos de la época. Esta concidencia se repitió, como lo hemos visto anteriormente (véanse MALUS y BIOT), cuando MALUS, BIOT y Brewster descubrieron casi simultáneamente la polarización por simple refracción hacia 1810, cuando Brewster estudió por primera vez la polarización cromática con la luz convergente mientras ARAGO la descubrió con la luz paralela; y cuando, después que MALUS estudiara la polarización en láminas apiladas, Brewster, en 1813, demostró que algunos cuerpos como las ágatas y las turmalinas se comportan exactamente como pilas de láminas.

Brewster, en 1815, observó que si se comprime una lámina común de cristal se vuelve birrefringente, como lo observó FRESNEL (véase) en la compresión de un prisma (1) y como lo había observado ROCHON (1787) fundiendo juntas láminas de vidrio de distinta refringencia.

Brewster estudió en el sulfato de quinina, el fenómeno que J. HERSCHEL llamaba "Difusión superficial"; y demostró que este fenómeno no es sólo superficial, razón por lo cual le dió el nombre de "Difusión interior" que conservó hasta que STOKES lo designara con el nombre de "Fluorescencia" (2). Relacionado con este estudio, debe citarse la observación de Brewster de la luminiscencia del platinocianuro de bario (1850) que fué tan oportunamente aprovechada por ROENTGEN en el invento de los rayos X.

En 1826, Brewster construyó electroimanes de herradura, después de STURGEON quien, en el año anterior, había construído los primeros electroimanes de esa forma.

Hemos hecho referencia ya (véase CANTON) a los primeros estudios de "piroelectricidad" y hemos citado la in-

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 179.
(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 200.

tervención de AEPINUS, CANTON, BERGMANN, MUSSCHENBROEK, B. WILSON, WILKE, HAUY... En 1825, Brewster se ocupó también de este fenómeno, le dió el nombre de "piroelectricidad" y estableció una larga lista de cristales termoeléctricos. Figuraron aún en el estudio de esta cuestión BECQUEREL, HANKEL, KUNDT, ROENTGEN, CURIE, VOIGT, RIECKE.

Después de todos estos verdaderos méritos de Brewster, terminaremos citando un mérito que le atribuyen erróneamente los autores ingleses. Nos referimos al invento de las lentes escalonadas y sobre todo a su aplicación a los faros. Más adelante (véase FRESNEL) veremos que BUFFON y CONDORCET conocían las lentes escalonadas inventadas por el primero de estos sabios, que la idea de construirlas con trozos separados pertenece exclusivamente a CONDORCET y que FRESNEL volvió a inventar las lentes escalonadas, las perfeccionó y las aplicó a los faros. Brewster, en 1827, reclamó para sí el invento de las lentes escalonadas, su construcción en varios trozos y su aplicación a los faros, y dió como prueba de su afirmación un artículo que publicó en 1811 en la Enciclopedia de Edimburgo, en el cual informaba acerca de esos descubrimientos. En ese artículo se encuentra en efecto la idea de construir las lentes escalonadas en varios trozos, pero CONDORCET ya lo había hecho veintitres años antes; no se encuentra la idea de la aplicación de esas lentes a los faros, y lo que al respecto haya podido afirmar Brewster en 1827, no tiene valor pues la memoria de FRESNEL acerca de los faros es de 1822 (1). Los ingleses han admitido y defendido la afirmación de Brewster guiados sin duda por un justo respeto hacia su ilustre compatriota, pero los franceses, y especialmente ARAGO, han aportado todas las pruebas necesarias para defender los derechos de BUFFON, de CONDORCET y sobre todo de FRESNEL.

---

(1) "Les Merveilles de la Science", de FIGUIER, t. IV, pág 415 hasta 528.

GROTTHUS
(1785-1822)

Teoría de electrólisis.

C. J. TEODORO DE GROTTHUS, químico y físico nacido en Leipzig en 1785 y muerto en Curlandia en 1822.

Estudió en Alemania, en Francia y en Italia, y a los veinte años empezó los estudios originales de electricidad que le dieron una inmediata celebridad. Continuó sus estudios en Curlandia donde, atacado de una enfermedad incurable, se suicidó a la edad de 37 años.

El nombre de Grotthus sólo se recuerda en nuestros días por su célebre teoría de la electrólisis (1), en la que consideraba que: cuando un electrólito se descompone, sus partes constituyentes, que tienen, cada una, una electricidad distinta, se separan de un modo invisible; las moléculas se colocan en forma de cadena bajo la influencia de la fuerza electromotriz, orientándose la parte metal en sentido de la corriente y el radical hacia el polo positivo; la molécula cercana al electrodo deposita en él la mitad libre que le corresponde y luego solicita la devolución de esta mitad a la molécula vecina. Lo interesante de esta teoría, que fué admitida durante toda la primera mitad del siglo XIX, es que ya se encuentra en ella la imagen de dos corrientes de iones que se mueven constantemente en direcciones opuestas.

Grotthus estableció la teoría en 1805 y la dió a conocer en los "Anales de Química" en 1807, poco antes de la publicación en la misma revista de un artículo de DAVY (véase) en que este sabio exponía una teoría idéntica que ya había puesto a consideración de la Sociedad Real de Londres varios meses atrás. Ya hemos dicho también que RITTER (véase) puede ser considerado como el precursor de Grotthus y de DAVY en esa teoría, y veremos más adelante que los conceptos de Grotthus y de DAVY, fueron atacados por BERZELIUS y destruídos por los tra-

(1) Véase la historia de las teorías de la electrólisis en CHWOLSON, t. X, pág. 229-257.

bajos de CLAUSIUS (1857) y de ARRHENIUS (1887). Grotthus se ocupó también de la fosforescencia (1814) pero sus investigaciones desaparecen ante el estudio que más tarde hiciera EDMUNDO BECQUEREL.

DULONG
(1785-1838)

Dulong y Petit: Dilatación. Método de determinación del coeficiente de dilatación del mercurio. El catetómetro. Errores termométricos. Termómetro de peso. Ley de enfriamiento. "Ley" o "regla" de Dulong y Petit.

Dulong: Refracción de los gases. Calor específico de los gases. Velocidad del sonido en los gases. Unidad de calor: caloría.

Dulong y Arago: Tensión del vapor. Comprobación de la ley de Boyle-Mariotte.

PEDRO LUIS DULONG, nació en Ruán en 1785 y murió en París en 1838.

Huérfano desde temprana edad, fué por un verdadero esfuerzo personal que cursó sus primeros estudios y logró ingresar a los diez y seis años, en la Escuela Politécnica. Dos años más tarde, una grave enfermedad lo obligó a abandonar esa escuela y siguió entonces los cursos de la Facultad de Medicina. Ejerció con éxito la profesión médica en París, pero su exceso de generosidad no sólo le impedía sacar mayor provecho de su trabajo sino que lo llevaba a la ruina, cuando decidió dedicarse a las ciencias. Se ocupó primero de Botánica; luego, aconsejado por BERTHOLLET, se interesó en la Química, ciencia en que se destacó muy pronto, empezando con ella su hermosa carrera científica. Sólo recordaremos algunos de sus descubrimientos químicos: Preparó el cloruro de nitrógeno que había escapado a la sagaz observación de VAUQUELIN, y la peligrosa manipulación de ese gas le hizo perder un ojo y dos dedos; introdujo el

prefijo "hipo" en la nomenclatura química con su descubrimiento del ácido hipo-fosforoso (1816); estudió las relaciones entre los oxácidos y los hidrácidos; realizó el análisis del agua con una corriente de hidrógeno sobre óxido de cobre, en colaboración con BERZELIUS, en el laboratorio de BERTHOLLET (1820).

La influencia de Dulong sobre la Física ha sido tan grande como sobre la Química, pues, experimentador minucioso e incansable, enemigo de las hipótesis atrevidas, ha dado a esas ciencias obras seguras que les están definitivamente adquiridas.

Inició su obra física con un trabajo sobre calor animal, a cuyo estudio fué llevado sin duda por su preparación fisiológica de médico, y desde entonces no se apartó casi nunca del estudio del calor. Hasta 1820, trabajó en colaboración con PETIT (1) y después de la muerte prematura de este sabio, continuó sus investigaciones sólo o en colaboración con ARAGO.

Dulong fué nombrado profesor de física en la Escuela Politécnica en reemplazo de PETIT (1820); fué miembro de la Academia de Ciencias (1823) y más tarde su secretario: fué maestro de Conferencias en la Escuela Normal (1830), profesor de Química en la Escuela de Alfort y en la Facultad de Ciencias (1832) y Director de Estudios de la Escuela Politécnica.

Célebres son los experimentos de Dulong y PETIT sobre la dilatación; y su método de determinación del coeficiente de dilatación del mercurio es tan conocido y tan claramente explicado en los tratados que sería ocioso repetirlo aquí (2). El aparato que emplearon necesita tener un dis-

(1) ALEJO PETIT (Vesoul, Alto Saona, 1791-París 1820), físico francés, cuñado de ARAGO, fué jefe de su promoción en la Escuela Politécnica, a la que ingresó a los diez y seis años de edad; fué profesor en el Liceo Bonaparte, en la Escuela Normal y en la Escuela Politécnica. En 1814 publicó con ARAGO "Investigaciones sobre el poder refringente de los cuerpos" y en 1818, con Dulong, "Investigaciones sobre la teoría del calor". Murió a la edad de 29 años.

(2) GANOT, pág. 215; CHWOLSON, t. VI, pág. 114.

positivo que permita medir con exactitud la altura del mercurio en los vasos comunicantes y con este fin, Dulong y PETIT inventaron, en 1818, el catetómetro, aparato que fué construído bajo sus indicaciones por GAMBEY (1).

Demostraron que la dilatación de los sólidos no es absolutamente proporcional a la temperatura pues su coeficiente de dilatación se modifica en las altas temperaturas.

Verificaron con mucha precisión en esos estudios sobre dilatación del mercurio, si ese metal no ofrecía las irregularidades de dilatación que AMONTONS había observado en el agua y el alcohol y que son de fundamental importancia como causas de error en termometría. Observaron así diferencias sensibles entre el termómetro de aire y el de mercurio más allá de 100° (1816). Propusieron entonces un "termómetro de peso" en el cual se pesa el mercurio que por la elevación de temperatura a determinar rebosa del termómetro completamente lleno cuando se inicia la operación (1818). REGNAULT aplicó y perfeccionó este método.

Clásicos son también los experimentos que acerca del enfriamiento de los cuerpos, realizaron estos dos sabios en 1819. Para determinar la ley general de dicho fenómeno, colocaban en un vaso lleno de agua un depósito metálico en que habían hecho el vacío y provisto de un termómetro calentado que representaba el cuerpo estudiado. Después de realizar muchas observaciones, ya con el depósito vacío ya lleno de distintos gases, llegaron a establecer la conocida "ley del enfriamiento de Dulong y PETIT" (2) de la cual la ley

(1) ENRIQUE GAMBEY (París 1789-1847) fué un constructor de aparatos de precisión de rara habilidad y colaboró así con todos los sabios franceses de su tiempo. Entre los instrumentos de su construcción se recuerda su teodolito que competía con el de RAMSDEN, el catetómetro de Dulong y PETIT, un helióstato de su invención que FRESNEL empleó en el estudio de la difracción, brújulas, una de ellas ecuatorial, anteojos y un círculo mural meridiano del Observatorio de París. Hizo, antes que ARAGO, la observación de la disminución del número de oscilaciones de la aguja de la brújula, causada por una chapa de cobre; pero no dió importancia a este hecho. (Véase ARAGO).

(2) CHWOLSON, t. VI, pág. 287-296 y t. III, pág. 263; BORDEAUX, "Histoire des Sciences", pág. 199.

de NEWTON puede ser considerada como una consecuencia, cuando se trata de diferencias de temperatura relativamente pequeñas.

Se expresa la ley del enfriamiento de Dulong y PETIT por tres fórmulas, bastante complicadas de las que, en resumen, se sacan las siguientes conclusiones: Las velocidades de enfriamiento crecen en progresión geométrica cuando las temperaturas del ambiente crecen en progresión aritmética. Esta velocidad se hace 1.16 veces mayor cuando la temperatura del ambiente aumenta en 20°, y es función de la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del ambiente. Debe considerarse no sólo la radiación del cuerpo sobre el ambiente, pero también la radiación del ambiente sobre el cuerpo. Influyen además sobre la velocidad de enfriamiento: la forma, la masa, la naturaleza del cuerpo y la magnitud y la naturaleza de su superficie.

Numerosos sabios, y entre ellos se destacan DE LA PROVOSTAYE, DESAINS, KUNDT, WARBURG, STEFAN (véase) y GRAETZ (1), hicieron el estudio crítico de la ley del enfriamiento de Dulong y PETIT. Llegaron a demostrar que sólo puede ser considerada como empírica y atribuyeron la causa de los errores constatados al hecho de que Dulong y PETIT consideraban despreciable la influencia del aire muy rarificado que permanecía en el depósito, pues, en realidad, puede afirmarse que la conductibilidad del gas es independiente de su densidad.

En 1819, Dulong y PETIT establecieron otra célebre ley (2) que lleva su nombre y puede enunciarse: "Para todos los cuerpos simples en estado sólido, el producto del peso atómico por la capacidad calorífica es un número casi cons-

(1) LEON GRAETZ (Breslau 1856), célebre físico alemán, hijo del eminente escritor judío Enrique Graetz (1817-1891), era profesor de la Universidad de Munich desde 1908; colaboró con WINKELMANN, con quien tuvo una interesante discusión sobre conductibilidad calorífica de los gases, discusión que reveló lo pequeña que es esta conductibilidad: $\lambda = 0.000055$. Su texto de electricidad es universalmente conocido (1904).

(2) CHWOLSON, t. VI, pág. 244; GANOT, pág. 232.

tante". Ese número variaba, según Dulong y PETIT, entre 2.93 y 3.03; pero como más tarde, los químicos atribuyeron al peso atómico un valor doble del que se le atribuía entonces, los límites del producto establecido por Dulong y PETIT deben expresarse ahora por los valores 5.9 y 6.8.

DUMAS (1) relata en la forma siguiente la historia del descubrimiento de esa "ley" o más bien de esa "regla" de Dulong y PETIT:

> " El lunes 5 de abril de 1819, fecha memorable, " PETIT, cuya muerte prematura la ciencia deploraba un año más tarde, mostraba confidencialmente a " su cuñado ARAGO, un trozo de papel en que estaban " escritas las relaciones según las cuales los cuerpos " simples se combinan y las cantidades de calor exigidas por cada uno de ellos para calentarse igualmente bajo el mismo peso. A primera vista era el desorden; pero, multiplicando por cada uno de los cuerpos " las dos cifras una por otra, todos los productos se " encontraban iguales. Una hora después, el ilustre secretario perpetuo (ARAGO), convencido de que Dulong, siempre vacilante, podría oponerse a la divulgación de esa hermosa ley, hablaba de ella con sus " colegas con una indiscreción calculada. Ocho días más " tarde, los dos colaboradores la enunciaban en la Academia misma, en una memoria célebre y en estos términos precisos: "Los átomos de todos los cuerpos " simples tienen exactamente la misma capacidad calorífica". No hubo más que un grito en toda la Europa " sabia..."

Y era muy comprensible ese grito de entusiasmo; la teoría atómica sólo parecía ser hasta aquella época, un ingenioso procedimiento para la explicación de las combinaciones entre los cuerpos; con la ley de Dulong, ya no fueron sólo las relaciones entre la materia las que confirmaban

(1) DUMAS, Elogio de REGNAULT

la nueva teoría sino que el calor, flúido imponderable o movimiento, aportaba también una prueba de su exactitud.

"Dulong y PETIT" agregaba DUMAS "al unir las propiedades fundamentales de la substancia pesada con las de un flúido imponderable o de una fuerza, parecían dar al viejo atomismo griego una consagración moderna y superior."

En la actualidad, la constancia de la capacidad calorífica atómica de los elementos sólidos tiene como consecuencia teórica que los átomos de los cuerpos simples sólidos realizan un mismo trabajo interior.

Numerosos sabios han estudiado experimentalmente y teóricamente la comprobación, las consecuencias y la generalización de la ley de "Dulong y PETIT" (1). Entre ellos, CLAUSIUS estudió especialmente sus consecuencias desde el punto de vista de la energía interior de los sólidos; NEUMANN (véase) en 1831, generalizó la ley del modo siguiente: "Para todos los cuerpos compuestos, de constitución química semejante, el producto de la capacidad calorífica por el peso molecular es aproximadamente constante"; JOULE (1844), WOESTYN (1848) y KOPP (1864), con estudios que se complementan, llegaron a la siguiente generalización: "La capacidad calorífica molecular de un compuesto sólido es igual a la suma de las capacidades atómicas de los elementos que lo componen", o más bien "El calor atómico de un compuesto es igual a la suma de los calores atómicos de sus componentes" pues KOPP llamaba "calor atómico" al producto del calor específico por el peso atómico (véase NEUMANN).

Las discordancias entre ciertos valores experimentales y la ley de Dulong y PETIT y sus consecuencias, le restan indiscutiblemente parte de su valor, pero su gran aproximación hace presumir que se ha llegado cerca de una ley natural que tiende a confirmar el ideal científico de la unidad de la materia.

---

(1) CHWOLSON, t. VI, pág. 245-257.

Entre los trabajos que Dulong realizó solo, debe recordarse: en 1826, su estudio de la refracción de los gases (1) por el prisma de BORDA, en el curso del cual determinó el índice de refracción absoluto de un gas cualquiera en función del índice del aire, por medio de una fórmula nueva; en 1829, estudió, también solo, el calor específico de los gases; en 1838, se ocupó del calor de combustión que estudió con el calorímetro de agua y de sus experiencias se deducía equivocadamente que el calor de combustión de una substancia compleja es igual a la suma de los calores de combustión de los componentes (véase FAVRE).

En 1825, el Gobierno Francés encargó a la Academia de Ciencias del estudio de la variación de la tensión del vapor con la temperatura, a fin de poder evitarse en los límites posibles la explosión de las máquinas de vapor, y esa asociación nombró al efecto una comisión formada por PRONY, ARAGO, AMPERE, GIRARD, y Dulong. Durante cuatro años ARAGO y Dulong realizaron célebres experimentos (2) sobre la tensión del vapor hasta presiones de 24 atmósferas y de ellas dedujeron por cálculo los resultados que se obtendrían hasta 50 atmósferas. El aparato que usaron para realizar esas peligrosas investigaciones era una marmita de PAPIN, en comunicación con un manómetro y en la cual dos termómetros, sumergidos cada uno en un tubo metálico cerrado y lleno de mercurio, indicaban la temperatura del agua y la del vapor.

Los resultados obtenidos fueron publicados en una memoria presentada en 1830 a la Academia y que contiene un cuadro de los puntos de ebullición del agua de 1 a 50 atmósferas.

En el mismo año de 1830, varios sabios norteamericanos repitieron los experimentos de ARAGO y Dulong; pero llegaron a resultados distintos.

Los numerosos predecesores de ARAGO y Dulong en el estudio de la tensión del vapor, entre los cuales recordare-

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 25.
(2) CHWOLSON, t. VIII, pág. 14.

mos a ZIEGLER, BETANCOURT, WATT, SOUTHERN, KAEMTZ, SCHMIDT, URE ARZBERGER, CHRISTIAN, DALTON, GAY-LUSSAC y DESPRETZ (1822) no habían alcanzado nunca la presión de 24 atmósferas con su correspondiente temperatura de 224° C. MAGNUS, REGNAULT y MORITZ perfeccionaron los métodos de Dulong y ARAGO y suprimieron varias causas de error.

Siempre en 1830, ARAGO y Dulong comprobaron la ley de Boyle-Mariotte comprimiendo el aire contenido por un tubo de 1.70 mts. de largo hasta la presión de 27 atmósferas, sin encontrar diferencias con los resultados expresados por dicha ley (1).

En 1829, realizó Dulong interesantes experiencias de acústica que sirvieron para comprobar la teoría de los tubos de órgano de WEBER y para determinar la propagación del sonido en los gases usando un tubo de órgano y siguiendo la fórmula:

$$v = \sqrt{g.\ \sigma.\ \frac{b}{s}.\ K}$$

en que g es la aceleración de la gravedad, σ la densidad del mercurio, b la presión barométrica, s la densidad del gas y K una constante que depende de la relación $\frac{Cp}{Cv}$ o sea la relación de los pesos específicos a calor constante y a volumen constante (véase LAPLACE). Calculó así la velocidad del sonido en el oxígeno, el hidrógeno, el ácido carbónico, del óxido de carbono, el óxido de nitrógeno, el etileno. REGNAULT, MOUSSON y otros prosiguieron esas determinaciones.

Hemos visto que de los trabajos de BLACK y de WILKE nació el concepto de la "unidad de calor". Fué Dulong quien, en 1838, estableció la unidad del calor como el calor que eleva un gramo de agua de 1° C. pero no le dió nombre

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 32.

mientras que FAVRE y SILBERMANN (1852) usan la expresión "caloría" como una expresión usual (1).

Dulong murió a los 53 años, en el momento en que se preparaba para realizar su obra principal, la síntesis de sus minuciosas investigaciones experimentales. Murió arruinado por sus costosos estudios y su familia habría quedado en la mayor pobreza si el gobierno francés no la hubiera socorrido, reconociendo la deuda que la ciencia había contraído con este verdadero sabio.

PELTIER
(1785-1845)

Explicación eléctrica de las trombas. Hipótesis de la variación del potencial eléctrico de la atmósfera. Electrómetro. Termómetro. El fenómeno Peltier y la pinza termoeléctrica.

JUAN PELTIER nació en Ham (Departamento de la Somme) en 1785 y murió en París en 1845.

Era hijo de un simple obrero en zuecos y él mismo llegó a París en busca de trabajo como aprendiz relojero. La suerte lo favoreció pues consiguió un puesto en la casa del célebre BREGUET, y allí fué puesto en contacto con la ciencia.

La meteorología y la electricidad fueron sus estudios favoritos y en ambos ha dejado huellas de sus actividades.

En meteorología se recuerda su explicación eléctrica de las trombas (2) y su hipótesis de la variación del potencial eléctrico de la atmósfera, hipótesis que volvió a ser defendida por LORD KELVIN (3).

(1) HOPPE, "Histoire de la Physique", pág. 296.
(2) GANOT, pág. 878.
(3) GANOT, pág. 883.

En electricidad, además de haber dejado un electrómetro (1836) y un termómetro de su invento, su nombre es conocido por todos por las expresiones de "fenómeno PELTIER" (1) o "calor PELTIER".

Este fenómeno que Peltier descubrió en 1834, consiste en que, cuando se hace pasar una corriente por un circuito formado por dos conductores, se produce en la superficie de unión de éstos una emisión o una absorción de calor, según el sentido de la corriente. DOVE hizo notar que Peltier se había equivocado en cuanto al sentido de la corriente de de su par de bismuto-antimonio pero atribuyó el error a una falta de impresión de su trabajo.

Este aumento o disminución de temperatura debido al "calor Peltier" puede ser determinado por el termómetro eléctrico del mismo inventor y que se llama generalmente "pinza termoeléctrica".

Hemos visto anteriormente que J. SEEBECK (véase) ya había tratado de demostrar el fenómeno que lleva el nombre de Peltier y había utilizado el par termoeléctrico como termómetro.

Se realizaron numerosas comprobaciones y ampliaciones de los experimentos de Peltier utilizándose su conocido dispositivo de dos varas perpendiculares que forman la "cruz de Peltier". LENZ llegó (1838) a provocar la congelación del agua con el enfriamiento de la corriente Bi $\longrightarrow$ Sb.

---

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 198; t. X, pág. 313; GANOT, pág. 631.

ARAGO (1)
(1786 - 1853)

Arago y Biot: Determinación del índice de refracción en los gases. Determinación de la densidad del mercurio. Medida del grado de meridiano en España.

Optica: Polarización. Punto neutro de Arago. Pleocroismo de Cordier. Polarización cromática. Polariscopio. Cianómetro. Leyes de Arago. Polarización por emisión. Polarización por difracción. Método de medida de la velocidad de la luz.

Arago y Fresnel: Leyes de las interferencias de los rayos polarizados.

Electricidad: Imanación por la corriente. Electroimán. Magnetismo de rotación. Inducción magnética. Magnetismo terrestre.

FRANCISCO ARAGO nació en 1786 en la comuna de Estagel, en el departamento de los Pirineos Orientales, y murió en París en 1853.

Su padre, que era licenciado en derecho, vivía con su numerosa familia del producto de pequeñas tierras de su propiedad. Arago hizo sus primeros estudios en la escuela primaria del pueblo y, según sus propias palabras, "no era ni más ni menos adelantado que los demás niños de su edad". Nada hacía adivinar al futuro sabio; al contrario, si sus inclinaciones de la infancia hubieran determinado su porvenir, Arago hubiera sido un valiente soldado, pues no soñaba más que con sables y fusiles y, a los siete años, se atrevió a atacar y logró herir de un lanzazo a un sargento español que con varios soldados atravesaban el pueblo de Estagel después de la derrota que los franceses inflingieran a las tropas españolas en la batalla de Peires Tortes.

El padre de Arago se trasladó a Perpiñán donde ocupó el puesto de Tesorero de la Moneda y el joven siguió entonces los cursos de la Escuela Central de esa ciudad. Nada

(1) Obras de ARAGO.

del sabio se traslucía aún en él ya que ahora su pasión por el oficio militar parecía haberse trocado en una viva admiración por la literatura clásica. Fué en Perpiñán, sin embargo, que su porvenir se decidió cuando, conversando con un joven oficial del cuerpo de ingenieros, éste le habló de la Escuela Politécnica.



ARAGO

En la historia de su juventud, de la que sacamos estos datos biográficos, Arago no nos dice si su súbita decisión de ingresar a esa Escuela fué causada por su afán de hacer estudios superiores o si la conversación del joven oficial volvió a despertar en él su amor a las charreteras de oro; de todos modos, fué con el mayor empeño que empezó su preparación matemática y completó los insuficientes cursos de la Escuela de Perpiñán con un estudio personal perseverante de los textos de LEGENDRE, LACROIX, GARNIER (1), EULER, LAGRANGE y LAPLACE. En

(1) JUAN GARNIER (Wasigny 1766-Bruselas 1840), matemático francés, profesor en Bélgica.

1803, tras un brillante examen, Arago ingresó a la Escuela Politécnica y, un año más tarde, POISSON, de quien se había hecho amigo, lo hacía nombrar Secretario del Observatorio, donde trabó amistad con LAPLACE y dió principio a sus primeros trabajos científicos en colaboración con BIOT. Entre esos trabajos figuran su determinación del índice de refracción de los gases por el método de BORDA, y su determinación de la densidad del mercurio en función de la densidad del aire para facilitar la aplicación de las fórmulas barométricas de hipsometría.

Nació en los jóvenes colaboradores la idea de continuar en España la medida del grado de meridiano empezada por DELAMBRE (1) y MECHAIN (2). LAPLACE hizo aprobar el proyecto por el gobierno imperial y Arago y BIOT partieron de París en 1806.

Desde la expedición a Laponia dirigida por MAUPERTUIS (1736), ninguna nueva medida de meridiano había sido realizada hasta la Revolución Francesa; pero cuando la Asamblea Constituyente encargó, en 1790, a la Academia de Ciencias de determinar modelos invariables de pesas y medidas, esta compañía nombró una comisión formada por BORDA, LAGRANGE, LAPLACE, CONDORCET y MONGE, quienes manifestaron en un informe (1791), que: "Debe tomarse por unidad de longitud usual la diez millonésima parte del cuarto de meridiano terrestre y referir

---

(1) JUAN BAUTISTA DELAMBRE (Amiens 1749-París 1822), astrónomo francés, empezó a estudiar astronomía con LALANDE recién a los 36 años de edad y pronto fué considerado como uno de los mejores astrónomos de Europa. Se recuerdan especialmente sus "Tablas de Urano" (1790) y su célebre "Historia de la Astronomía", a la que se dedicó de 1817 a 1821. Formó parte de la Academia de Ciencias desde 1795 y reemplazó a LALANDE como profesor de Astronomía del Colegio de Francia en 1807.

(2) PEDRO MECHAIN (Laon 1744-Castellón de la Plana, España, 1804), astrónomo francés, discípulo de LALANDE; su determinación de la diferencia de longitud entre Greenwich y París, le abrió las puertas de la Academia de Ciencias. Consideró a Urano, recién descubierto por HERSCHEL, como un planeta (1781). Realizó la medida del meridiano entre Rodas y Barcelona, pero, después de volver a Francia, descubrió un pequeño error en sus cálculos; volvió a España para corregirlo y contrajo en el curso de este viaje la fiebre amarilla que puso fin a su vida.

la pesantez de todos los cuerpos a la del agua destilada, adoptando el sistema decimal para unir toda medida principal de cada especie con las medidas mayores y menores". Es con este fin que se decidió hacer una medida del meridiano más exacta que las anteriores y se resolvió realizarla de Dunkerque a Barcelona, encargándose a DELAMBRE de los trabajos en Francia y a MECHAIN de la más peligrosa tarea en España.

Sería interesante, pero desgraciadamente demasiado largo, contar aquí las mil peripecias, las novelescas aventuras de las que Arago fué el héroe en su continuación de la obra de MECHAIN en España, cuando vivía solo en las montañas de Andalucía, pobladas de ladrones, o cuando el odio del pueblo español contra Francia lo obligó a huir bajo disfraces para no ser víctima de motines populares. Cuando pudo escaparse de España, no terminaron los emocionantes episodios de este agitado viaje: Arago fué a Argelia; volvió a pasar el Mediterráneo, con falso pasaporte, en un barco que a pocas millas de Marsella fué apresado por corsarios españoles; fué llevado de nuevo a España y allí fué arrastrado de prisión en prisión hasta que el Dey de Argelia, bajo cuya bandera navegaba el barco, exigió la libertad de todos los pasajeros. Arago se embarcó de nuevo para Marsella, pero a la vista del puerto una tormenta llevó la embarcación a la deriva hasta la costa africana, en Bujía; en esa ciudad y en Argel, pasó el sabio siete meses abundantes en nuevas aventuras y peligros, y, por fin, en julio de 1809, desembarcó en Marsella donde terminó su larga odisea.

Allí, recluído en cuarentena en el lazareto, la primera carta que recibió fué de HUMBOLDT, a quien Arago sólo conocía por sus célebres viajes de Méjico y quien, a su vez, sólo conocía a Arago por entusiastas referencias de LAPLACE, de LAGRANGE y de BERTHOLLET. Esa carta de bienvenida fué el primer contacto entre dos sabios que fueron unidos durante más de cuarenta años por una amistad ejemplar.

Menos de dos meses después de su regreso a la patria,

Arago fué elegido miembro de la Academia de Ciencias, en reemplazo de LALANDE, y en el mismo año de 1809, fué designado profesor de geometría analítica de la Escuela Politécnica en reemplazo de MONGE, a indicación de este mismo sabio. Arago ocupó esta cátedra durante más de veinte años y renunció a ella en 1830, cuando, siendo Director del Observatorio, fué nombrado Secretario de la Academia de Ciencias, en reemplazo de FOURIER y fué elegido Diputado Republicano.

En 1830 pues, inicióse la carrera política de Arago; republicano sincero aunque moderado, cumplió con rectitud sus funciones, ya como diputado, ya como miembro de la Asamblea Legislativa o como Ministro de Guerra y Marina en el Gobierno Provisorio de 1848. Supo luchar por sus ideales, acudiendo a las barricadas contra la insurrección obrera de Junio de 1848, y supo serles fiel, rehusando el juramento de fidelidad al gobierno de 1852. Napoleón III separó entonces de todos sus cargos al anciano y respetado sabio, quien murió pocos meses después.

Arago será siempre considerado como uno de los más grandes sabios del siglo XIX por sus descubrimientos y sus obras de física, de meteorología y de astronomía; los historiadores de la ciencia recurrirán siempre, como lo hemos hecho tan ampliamente en esta obra, a sus célebres "Noticias Biográficas", "Noticias Científicas", "Memorias Científicas" y "Misceláneas" con sus once nutridos tomos tan atrayentes por la forma como valiosos por el fondo. Sin embargo, la historia no podrá retener así más que una parte de la gloriosa obra de Arago, pues ya sólo quedan referencias de ciertos aspectos de esa obra: su fama de profesor que es recordada por varias generaciones de sabios que fueron sus alumnos, su talento de orador que supo unir las ciencias con las letras, y sus méritos como vulgarizador que reunía en sus conferencias, con idéntico entusiasmo, a los más inexpertos principiantes y a los especialistas más profundos.

Para no extender demasiado este estudio de la vida y de la obra de Arago no citaremos más que sus trabajos directamente relacionados con la Física, los que pertenecen

casi todos, a la óptica, al electromagnetismo y a la física atmosférica.

Hemos dicho ya que los primeros estudios de óptica de Arago fueron realizados en 1806, en colaboración con BIOT y que consistían en la determinación del índice de refracción (1) de distintos gases por el método de BORDA (2).

El descubrimiento de MALUS de la polarización por reflexión interesó intensamente a su amigo y colaborador Arago, quien estudió el nuevo fenómeno desde el punto de vista de la teoría de las ondulaciones que FRESNEL logró hacer triunfar, gracias en parte a la colaboración y al constante apoyo de Arago.

Arago realizó las primeras medidas de las variaciones de intensidad de imágenes producidas en un cristal birrefringente por la luz polarizada y esas medidas condujeron al descubrimiento de la ley de MALUS que ya hemos mencionado.

En 1809, observó que la luz atmosférica es parcialmente polarizada, que esa polarización, casi insensible cerca del

---

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 23-25.

(2) JUAN BORDA (Dax, Landas, 1733-París 1799), físico francés, fué oficial del cuerpo de ingenieros, de caballería y de marina y asistió a varias batallas de tierra y de mar. Inventó numerosos aparatos como el círculo de reflexión y los círculos repetidores cuyo principio se debe al gran astrónomo alemán TOBIAS MAYER (Marbach 1723-Gotinga 1762). Construyó el primer faro de eclipses con espejo parabólico, siguiendo las ideas de TEULERE (véase FRESNEL) y le adaptó la lámpara de ARGAND; acompañó a DELAMBRE en su medida del meridiano e inventó aparatos que permitieron a este astrónomo llevar a buen término su difícil empresa.

Borda fué, además de inventor, un sabio profundo; en física, su nombre se recuerda por varios motivos: por el célebre "método de Borda" para la determinación de g por el péndulo (CHWOLSON, t. I, pág. 383; GANOT, pág. 91) método ya indicado por HUYGHENS; el método de doble pesada que lleva su nombre (CHWOLSON, t. I, pág. 342; GANOT, pág. 35); la ley del decrecimiento de las amplitudes de las oscilaciones del péndulo en progresión geométrica cuando su número crece en progresión aritmética (GANOT, pág. 85); el método de determinación del coeficiente de dilatación de las reglas llamado "Método diferencial" y que fué señalado anteriormente por DELUC (CHWOLSON, t. VI, pág. 99; GANOT, pág. 14).

Borda ideó el prisma empleado por ARAGO y por DULONG para la determinación del índice de refracción de los gases, pero murió antes de haberlo podido emplear.

Sol, aumenta a medida que se aleja de él, que llega un máximum cuando la distancia angular es de 90° y que, pasado ese punto máximo, la polarización vuelve a disminuir hasta llegar a un punto donde desaparece: es el "punto neutro de Arago" que se encuentra a una altura de 12° a 25° del lado del cielo opuesto al Sol poniente. Observó así mismo que la luz de un punto cualquiera del cielo está polarizada en el plano que pasa por el observador y el Sol (1).

En el mismo año de 1809, CORDIER (2) observó el pleocroismo" en un mineral que conservó su nombre, la cordierita, y este fenómeno fué casi inmediatamente estudiado por Arago, BIOT y BREWSTER (3).

En 1811, Arago observó que si se coloca delante de un polarizador (por reflexión, refracción o doble refracción) una lámina de cristal de roca, la luz polarizada que la atraviesa adquiere nuevas propiedades distintas de la luz ordinaria y de la luz simplemente polarizada. En efecto, haciendo pasar esa luz por un cristal birrefringente, observó que ya no puede apagarse uno de los haces de luz como en el caso de la luz simplemente polarizada, pero que tampoco puede considerarse como luz ordinaria, pues los haces refractados adquieren aquí colores vivos y complementarios uno de otro. Este fenómeno, que ha sido llamado "polarización cromática", fué estudiado por BIOT (véase) y HERSCHEL y explicado por YOUNG y por FRESNEL quien demostró que se trataba de un fenómeno de polarización rotatoria. BREWSTER, en 1813 o sea dos años después de Arago, estudió el mismo fenómeno sin conocer los trabajos de su colega francés, y con luz divergente o convergente en lugar de luz paralela (4).

---

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 102.

(2) PEDRO ANTONIO CORDIER (Abbeville 1777-París 1861), geólogo y mineralogista francés, formó parte de la expedición de Egipto, reemplazó a HAUY en la Academia de Ciencias (1822). Luis Felipe lo hizo consejero de Estado y par de Francia. Cordier se ocupó del establecimiento de ferrocarriles y de la navegación a vapor.

(3) CHWOLSON, t. V, pág. 139.

(4) CHWOLSON, t. V, pág. 147.

El "polariscopio de Arago" (1) fué inventado por este sabio en 1811, como consecuencia de su descubrimiento de la polarización cromática. Es una especie de anteojo cuyo objetivo consiste en una lámina de cristal de roca y el ocular en un cristal birrefringente. Si se dirige el instrumento hacia la luz ordinaria se observa la doble refracción común; pero si se dirige hacia la luz polarizada se observan dos imágenes de colores complementarios. El "cianómetro" que Arago construyó en 1815, es una aplicación de ese polariscopio.

Recordamos que MALUS (véase) había observado en 1811, que "la luz refractada está polarizada en un plano perpendicular al plano de polarización de la parte reflejada de la misma luz de incidencia"; Arago agregó a esta observación, en 1812, que "la cantidad de luz polarizada contenida en el haz que trasmite un plano diáfano, es exactamente igual a la cantidad de luz polarizada a ángulo recto, que se encuentra en el haz reflejado por el mismo plano".

En 1809, MALUS estableció una regla que permite calcular el ángulo de polarización completa en la segunda superficie de un medio diáfano en función del ángulo de polarización completa en la primera superficie, y Arago enunció en 1815, la ley que lleva su nombre y de la cual la regla de Malus no es sino un caso particular. (Véase Brewster). Esta ley, o "teorema" como la llama Arago, se extiende a los ángulos cuya polarización, aunque parcial, es igual en la primera y la segunda superficie de un cuerpo diáfano, y puede enunciarse: "El seno del ángulo bajo el cual un haz debe reflejarse en la primera superficie de un cuerpo para que contenga una cantidad dada de luz polarizada es al seno del ángulo bajo el cual su reflexión en la segunda superficie daría una proporción equivalente de rayos polarizados como el seno de incidencia es al seno de refracción". Ahora bien, Arago descubrió esta regla de fo-

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 134.

tometría: "El seno del ángulo bajo el cual un haz de luz es parcialmente reflejado por la primera superficie de un cuerpo diáfano es al seno del ángulo en que la luz se refleja en la misma proporción en la segunda superficie, como el seno del ángulo de incidencia es al seno de refracción". Comparando estas dos reglas, vemos que tenemos tres proporciones iguales entre sí y por consiguiente: "El seno del ángulo bajo el cual un haz debe reflejarse en la primera superficie para que contenga una cantidad dada de luz polarizada es al seno del ángulo bajo el cual su reflexión en la segunda superficie daría una proporción equivalente de rayos polarizados, como el seno de incidencia es al seno de refracción y como el seno del ángulo bajo el cual el haz parcialmente reflejado en la primera superficie es al seno del ángulo bajo el cual es reflejado en la misma proporción en la segunda". Este larguísimo enunciado conduce a la ley de Arago propiamente dicha, más concisa: "La primera y la segunda superficie de un cuerpo polarizan igualmente la luz en los ángulos bajo los cuales estas superficies las reflejan igualmente" (1).

En 1819, Arago y FRESNEL presentaron su memoria sobre interferencia de los rayos polarizados en que se encuentran las leyes que citaremos más adelante (véase Fresnel), pero el primer descubrimiento de la interferencia de la luz polarizada fué hecho por Arago en 1811, y como operaba con luz blanca obtuvo así lo que llamó la "polarización cromática".

En 1824, Arago descubrió la "polarización por emisión" (2) o sea el hecho de que la luz emitida por los cuerpos incandescentes está polarizada parcialmente; la observó en el platino incandescente y vió que el plano de polarización es perpendicular al plano de emisión. DE LA PROVOSTAYE, DESAINS, KIRCHHOFF, MAGNUS, VIOLLE y otros se ocuparon de la polarización por emisión.

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 70.
(2) CHWOLSON, t. V, pág. 93.

Arago también observó la "polarización parcial por difracción" (1), fenómeno que fué estudiado ampliamente por STOKES en 1849 y posteriormente por muchos físicos entre los cuales figuran FIZEAU y POINCARE.

En 1838, Arago, inspirado por el método de WHEATSTONE (véase) para la determinación de la velocidad de la electricidad, imaginó un método para determinar la velocidad de la luz en distintos medios y comprobar así la exactitud de la teoría de las ondulaciones, ya que ésta atribuía a la luz una velocidad menor en el agua que en el aire, mientras que la teoría de las emisiones suponía lo contrario. Propuso colocar delante de un espejo giratorio un largo tubo lleno de agua, hacer pasar por este tubo un haz de luz y, debajo de él, hacer llegar directamente otro haz; el espejo giratorio tendría bastante velocidad para tener tiempo de cambiar su posición en el intervalo entre la llegada de una y otra luz, de modo que bastaría observar cual de las dos imágenes luminosas hubiera sido más desviada por la reflexión en el espejo, para saber cuál se había propagado con menos velocidad. Este experimento quedó bajo forma de proyecto, pues el mal estado de la vista de Arago no le permitió realizarlo, pero la idea no se perdió pues debe ser considerado como el precursor directo del método de FOUCAULT (véase).

Antes de terminar esta reseña de la parte óptica de la obra de Arago, debemos recordar aún un importante tratado de fotometría basado en la nueva teoría de las ondulaciones y en el cual fué el primero en proponer el debilitamiento del rayo luminoso estudiado por polarizaciones sucesivas en espatos dobles o bien introduciendo luz polarizada en un espato doble cuya sección principal forma con el plano de polarización un ángulo, teniéndose así también un medio de obtener todos los grados de debilitamiento de los rayos obtenidos, de acuerdo con las leyes descubiertas por el mismo Arago y que acabamos de señalar.

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 95.

BEER, BERNARD, ZOLLNER, WILD, SAVART y otros construyeron fotómetros basados en este principio. Recordemos también su explicación por las interferencias del centelleo de las estrellas, cuestión que había preocupado a los ópticos y astrónomos de todos los tiempos y entre ellos ARISTOTELES, PTOLEMEO, AL HAZEN, VITELLO, TYCO BRAHE, CARDANO, SCALIGER, BRUNO, GALILEO, KEPLERO, SCHEINER, DESCARTES, HUYGHENS, GASSENDI, RICCIOLI, HOOKE, NEWTON, KERN, JURIN, JAC. CASSINI, MAIRAN, LALANDE, MUSSCHENBROECK, SAUSSURE, YOUNG, NICHOLSON, KAEMTZ, BIOT, etc.

En electro-magnetismo, Arago, amigo y colaborador de AMPERE, ha hecho cuatro grandes descubrimientos capitales: la atracción del hierro por el hilo conductor de la corriente, la imanación por la corriente, la imanación momentánea del hierro dulce y el magnetismo de rotación.

Veamos las propias palabras de Arago: "Observé que en el momento en que se ponía un hilo de cobre en comunicación con los polos de una pila, atraía la limadura de hierro dulce como lo hubiera hecho un verdadero imán... El hilo no comunica al hierro dulce más que una imanación momentánea; si se emplean trozos de acero se les da a veces una imanación permanente y he llegado así a imantar completamente una aguja de acero..."

Estos experimentos fueron explicados en la Academia de Ciencias, el lunes 25 de setiembre de 1820, en la misma sesión en que AMPERE terminó la lectura de su primera memoria con el descubrimiento de la acción mutua de las corrientes, lectura que fué empezada el lunes 18 y que era consecuencia del experimento de OERSTED que Arago había hecho conocer a la Academia, el lunes 11 de setiembre (véase AMPERE). AMPERE, a quien Arago comunicaba todos sus experimentos, aconsejó a éste reemplazar el hilo recto por un hilo doblado en forma de hélice y envolver así la aguja que deseaba imantar, pues esperaba que se obtendría de ese modo mejores resultados y una confirmación de su teoría del magnetismo. El resultado fué alcanzado y Arago imaginó

entonces formar con un sólo hilo dos hélices arrolladas en sentido contrario y colocar en cada una de ellas una aguja de acero, comprobando que los imanes así obtenidos tenían los polos en direcciones contrarias. Variando los experimentos, Arago colocó un sólo hilo de acero en el centro de varias hélices en sentidos alternados y obtuvo así en el mismo hilo varios polos o "puntos consecuentes".

AMPERE y Arago se reparten pues la gloria del invento del electro-imán, el maravilloso instrumento que permitió el invento de los motores, del teléfono, del telégrafo y en general todas las grandes aplicaciones de la electricidad (véase AMPERE). A estos dos nombres deben agregarse los de los principales perfeccionadores del electroimán: STURGEON (1), BREWSTER, HENRY (2) y POUILLET.

En 1822, mientras determinaba con su amigo HUMBOLDT la intensidad magnética terrestre en Greenwich, Arago observó que una aguja de declinación llega más ligero al reposo cuando está colocada en su caja que cuando está alejada de todo cuerpo extraño. En 1824 y 1825 respec-

(1) GUILLERMO STURGEON, físico inglés, empezó desde 1825 sus experimentos sobre electromagnetismo y creó en ese año el primer electroimán práctico, en forma de herradura. Estudió todas las condiciones que favorecen la imantación del hierro dulce y, amigo de JOULE, lo interesó en el estudio del electromagnetismo (1839). BREWSTER, que construyó un electroimán de herradura un año después que Sturgeon, no debe ser considerado como su inventor.

(2) JOSE HENRY (Albany 1797-Nueva York 1878), físico norteamericano, era profesor del Instituto de Albany (Estado de Nueva York). En 1828, inspirado por los galvanómetros multiplicadores,, arrolló el hilo de los electro-imanes en varias capas y, más tarde, imaginó colocar varios rollos de hilo en lugar de uno solo. Pensó en aplicar el electroimán a la telegrafía eléctrica, pero MORSE realizó su sueño. Demostró que las corrientes de inducción dan nacimiento a otras corrientes de inducción y logró obtenerlas hasta el quinto orden.

En 1842, Henry observó la acción a distancia de la descarga de una botella de Leyden en los conductores; pero no se detuvo en el estudio de esos fenómenos que podría haberlo llevado por el camino de los grandes descubrimientos que hacen la gloria de HERTZ. Henry era muy considerado como sabio y WHEATSTONE era uno de sus amigos.

José Henry no debe ser confundido con otro físico HENRY (1774-1836) que dió en 1803 la ley de absorción de los gases en los líquidos en función del "coeficiente de absorción" y que estudió (1800) la polarización del mercurio. (Véase J. HERSCHEL y LIPPMANN).

tivamente, presentó a la Academia la comunicación de dos interesantes experimentos basados en dicha observación. Por el primero se demostraba, como ya lo había hecho GAMBEY, que si se coloca debajo de una aguja magnética una chapa de cobre o de cualquiera otra substancia, la amplitud de oscilación disminuye. Por el segundo se observa, inversamente, que si se hace girar un disco de cobre debajo de una aguja en reposo esta se aparta de su posición tanto más cuanto mayor sea la velocidad de rotación del disco, y que, si se acelera mucho esta rotación, la aguja gira de un modo continuo. Arago consideró que se podría atribuir este fenómeno a una fuerza análoga al frotamiento y estableció su ley, que no es sino la ley de Lenz expresada con desconocimiento de la inducción. Este "magnetismo de rotación" interesó enormemente a los sabios europeos, que veían surgir un fenómeno completamente nuevo, y se recuerdan los trabajos de POISSON, (véase) NOBILI, SEEBECK, ANTINORI, BACELLI (1), BARLOW (2), CHRISTIE (3), BABBAGE (4), HERSCHEL, PREVOST (5) y

---

(1) LIBERATO J. BACELLI (Luca 1772-Bolonia 1835), sacerdote italiano y profesor de física de la Universidad de Bolonia; se recuerda especialmente su obra "Los fenómenos electromagnéticos" (1821).

(2) PEDRO BARLOW (Norwich 1776-1862), físico inglés, de origen sumamente modesto, pues era hijo de obreros, se educó casi por su propio esfuerzo. A los treinta años era profesor de matemáticas de la célebre Academia Militar de Woolwich y conservó este cargo durante más de cuarenta años. En 1823, fué elegido miembro de la Sociedad Real de Londres, que le otorgó la medalla de Copley, dos años más tarde.

La principal obra de física de Barlow es su "Ensayo acerca de las atracciones magnéticas" de 1820. Su nombre se recuerda también por su estudio de la compensación de los errores de las brújulas de navíos, por la conocida "rueda de Barlow" (CHWOLSON, t. XI, pág. 349) y en acústica por su invento del logógrafo. Estudió la resistencia al mismo tiempo que OHM pero en forma más primitiva.

(3) SAMUEL ENRIQUE CHRISTIE (Londres 1784-1865), físico inglés, formado en Cambridge y profesor en Woolwich. Se ocupó especialmente de magnetismo y fué precursor de WHEATSTONE en el invento del puente que lleva el nombre de este último. Su hijo GUILLERMO CHRISTIE (n. 1845) fué astrónomo y se ocupó del perfeccionamiento del espectroscopio.

(4) CARLOS BABBAGE (Teignmouth, Devonshire, 1792-1871), matemático y físico inglés, estudió en la Universidad de Cambridge y fué miembro de la Sociedad Real de Londres. Realizó interesantes variaciones del experimento de ARAGO, con imanes giratorios y discos livianos de cobre.

(5) PEDRO PREVOST (Ginebra 1751-Londres 1839), físico y litera-

sobre todo de FARADAY quien en 1832, explicó el "magnetismo de rotación" como un fenómeno de inducción, y de MAXWELL, quien dió la teoría matemática del fenómeno (1). La explicación de FARADAY fué admitida de inmediato por Arago, pero hizo notar que la consideraba incompleta pues el "magnetismo de rotación" no se observaba sólo en cuerpos buenos conductores como el disco de cobre, sino también en cuerpos dieléctricos como la goma laca, la parafina, etc.

Arago hizo, además de sus descubrimientos de la inducción magnética que acabamos de citar, numerosas observaciones de magnetismo terrestre y estudió con especial atención la desviación del arco voltáico por el imán, fenómeno que comparó a la dirección de la aurora boreal (ley de Arago) (2).

En la física atmósférica, los principales trabajos de Arago fueron: la determinación del peso específico del aire con BIOT (1806); la verificación de la ley de Boyle-Mariotte hasta 27 atmósferas con DULONG (1830) (véase); el estudio de la tensión del vapor con el mismo (1830), estudio del que nos hemos ocupado también en la biografía de DULONG; la medida de la velocidad del sonido (1822) con GAY-LUSSAC, BOUVARD (3), PRONY (4),

---

to suizo, fué llamado a Berlín por Federico el Grande y gozó de gran fama en aquella ciudad, donde era miembro de la Academia de Ciencias y profesor de la Escuela de los Nobles. En 1784 volvió a Ginebra y se ocupó preferentemente de política y enseñanza. Fué precursor de LESLIE y de KIRCHHOFF en el estudio del poder emisor y del poder absorbente.

(1) CHWOLSON, t. XII, pág. 107.

(2) GANOT, pág. 887.

(3) ALEJO BOUVARD (Contamines, Alta Savora, 1767-París 1843), astrónomo francés, era hijo de pobres montañeses, pero gracias a la protección de LAPLACE entró en la Oficina de Longitudes, en la Academia de Ciencias y al Observatorio. Gran calculador, ayudó a LAPLACE en los cálculos de la "Mecánica Celeste".

(4) GASPAR RICHE, BARON DE PRONY (Chamelet, cerca de Lyon 1755-París 1839), ingeniero, matemático y físico francés, ocupó los más altos cargos de ingeniería en su país y, en Italia, corrigió el curso del río Pó y amplió los puertos de Génova, Ancona, Venecia y Pola. Sus obras de ingeniería en Francia son innumerables. En mecánica se recuerda el "freno de Prony" (GANOT, pág. 316; CHWOLSON, t. II, pág. 437) y su flotador de nivel constante. Prony fué miembro de la Academia de Ciencias de París.

MATHIEU (1), y HUMBOLDT y cuyo resultado fué el de 330.8 m/seg. (2). Agregaremos aún, en 1821, un estudio de la variación de la pesantez en diversos puntos del globo, en colaboración con BIOT.

Tales fueron los pricipales puntos de la obra física de Arago y si a ella se suman sus trabajos de astronomía, de física del globo y de meteorología, su inmensa obra literaria, histórica, oratoria y política y su enorme correspondencia con todos los sabios de Europa se podrá concebir toda la actividad de esa hermosa vida de sabio.

SEGUIN (1786-1875)

Caldera tubular. Sus derechos como precursor de R. Mayer.

MARCO SEGUIN, físico e ingeniero francés nació en Annonay en 1786 y murió en la misma ciudad en 1875.

Era sobrino y discípulo de J. MONTGOLFIER; pertenecía pues, a una familia de industriales. Como los Montgolfier también, fué por su propio esfuerzo que llegó a adquirir los conocimientos teóricos suficientes para completar su educación práctica.

Fué la mecánica que lo interesó mayormente. En 1822, estudió la resistencia de los cables y los empleó en la construcción de los puentes suspendidos a pesar de la oposición que le hacían la mayor parte de los ingenieros.

En 1827, inventó la célebre caldera tubular que debe contarse entre los más grandes perfeccionamientos de la má-

---

(1) CLAUDIO LUIS MATHIEU (Macon 1783-1875), astrónomo francés, discípulo de DELAMBRE y de LACROIX, fué profesor de la Escuela Politécnica, miembro de la Academia de Ciencias (1817) y ocupó puestos políticos. Mathieu era cuñado de ARAGO.

(2) CHWOLSON, t. III, pág. 68.

quina de vapor (1). Debe recordarse sin embargo que este invento es posterior al de las calderas tubulares llamadas de PERKINS (aunque DALLERY también colaborara a su invento) y cuyos tubos contenían agua en vez de ser recorridos por aire caliente.

Las primeras locomotoras tubulares que Seguin empleó en la línea Saint Etienne-Lyon, de la cual era director, contenían cuarenta y tres tubos; pero este número fué aumentado en los modelos posteriores. STEPHENSON empleó la caldera tubular de Seguin en su célebre locomotora "Cohete" en 1829.

En ese mismo año, Seguin inventó un ventilador de fuerza centrífuga para aumentar el tiraje en los tubos de las calderas, pero este invento no ofreció las ventajas que se esperaban y fué reemplazado por un sistema que permite inyectar el vapor de los cilindros en los tubos.

En 1855, Seguin presentó a la Academia de Ciencias un proyecto de "Máquina de vapor pulmonar" (2).

Este célebre mecánico, que puede figurar en la historia de los grandes inventos al lado de WATT y STEPHENSON, fué también un teórico; y es así que en 1839, en una de sus obras sobre los ferrocarriles titulada "De la influencia de los ferrocarriles y del Arte de construirlos", Seguin describió un método para determinar el equivalente mecánico del calor y dió el valor de E = 367 (véase Mayer). Es debido a este hecho, que DUMAS consideraba a Seguin como el verdadero iniciador de la teoría mecánica del calor, pero en esta obra nos hemos limitado a citarlo como uno de los predecesores de MAYER por haber sido la obra de MAYER la base verdadera del amplio estudio de la conservación de la energía (véase MAYER).

---

(1) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. I, pág. 276-282-283.
(2) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. I, pág. 146.

OHM
(1787-1854)

Conductibilidad eléctrica. Ley de Ohm. Derechos de Pouillet. Polarización de la pila: la "contra tensión". Acústica.

JORGE SIMON OHM nació en 1787 en Erlangen, pequeña ciudad universitaria de Baviera y murió en Munich en 1854.

Era hijo de un simple cerrajero a quien siguió ayudando en los pesados trabajos del taller a pesar de su destacada actuación en el colegio y luego en la Universidad Protestante de Erlangen, y hasta que, terminados brillantemente sus estudios, fué nombrado profesor de matemáticas en un colegio de Jesuítas en Colonia.

En dicha ciudad, en 1818, Ohm publicó un buen tratado de geometría; pero, desde 1822 entusiasmado por los grandes descubrimientos de electro-magnetismo debidos a OERSTED, AMPERE y ARAGO, se dedicó casi exclusivamente a la electricidad.

A su gran habilidad de experimentador, adquirida sin duda con la práctica de trabajos manuales en el taller de su padre, Ohm unía el rigor y la exactitud de una profunda preparación matemática.

Entendió que los nuevos fenómenos electromagnéticos no debían ser estudiados sólo cualitativamente sino también cuantitativamente y que para esto era necesario realizar medidas precisas y generalizarlas en relaciones matemáticas.

En 1827, Ohm públicó en Berlín, "Exposición Matemática de las Corrientes Galvánicas", obra que contiene los trabajos que le dieron celebridad. Esta publicación no tuvo mayor resonancia en un principio, a pesar de la entusiasta aprobación de BERZELIUS, y Ohm, que había renunciado a su cátedra en Colonia y se había instalado en Nuremberg, vivió muy pobremente hasta 1833, año en que fué nombrado profesor en la Escuela Politécnica.

En 1841, la Sociedad Real de Londres reconoció la importancia de su descubrimiento, otorgándole la medalla

de Cowley; y en 1852, dos años antes de su muerte, Ohm fué nombrado profesor de la célebre Universidad de Munich.

A pesar de haber dejado interesantes escritos sobre óptica y acústica, son los trabajos de electricidad de Ohm casi los únicos que se recuerdan en la historia de la ciencia.



JORGE SIMON OHM

Empezó estos estudios por una comparación de la conductibilidad eléctrica de distintos metales, lo que conseguía haciendo pasar la corriente por un hilo del metal estudiado colocado encima de una aguja magnética cuya desviación equilibraba con la torsión del hilo de suspensión. Es decir pues, que determinaba la fuerza electromotriz del conductor por medio de un galvanómetro unido a una balanza de torsión.

Ohm efectuó sus experimentos con pilas termoeléctricas y estableció una teoría basada sobre tres leyes principales (1). La primera de estas leyes, que se refiere a la dis-

(1) Véase GANOT, pág. 639 y sigts.

tribución de la electricidad en un conductor, está inspirada en los trabajos sobre distribución del calor de FOURIER y puede expresarse: "La magnitud del flujo eléctrico entre dos moléculas vecinas es proporcional a su diferencia de tensión". Para el contacto de cuerpos distintos estableció que: "La diferencia de tensiones eléctricas en el contacto de dos cuerpos tiende hacia una constante"; y para la dispersión de la electricidad en el ambiente: "La pérdida de electricidad es proporcional a la tensión y a un coeficiente que depende del estado atmosférico".

Ohm estableció teóricamente la conocida ley que lleva su nombre, en 1827. Comparaba la corriente eléctrica a una corriente de agua y su diferencia de potencial a una caída de agua; diferenciaba claramente los términos: intensidad, fuerza electromotriz y resistencia, y establecía que: "La intensidad de la corriente (I) es directamente proporcional a la fuerza electromotriz (E) que obra en el circuito, e inversamente proporcional a su resistencia (R)" o sea:

$$I = \frac{E}{R}$$

Estudió esta resistencia y demostró que era proporcional a una constante α particular a la naturaleza del conductor o "resistencia específica" y a su longitud (l) e inversamente proporcional a su sección (s); o sea:

$$R = \frac{\alpha . l}{s}$$

Los derechos de Ohm al descubrimiento de la "ley de Ohm" son discutidos y muchos autores franceses consideran que ésta debería llamarse "ley de POUILLET". LUIS OLIVIER, director de la "Revue Générale" dijo:

" Es Pouillet quien ha descubierto la ley indebida-
" mente llamada Ley de Ohm. Ohm ha dicho simple-
" mente: "Si la electricidad se propaga como el calor,

" tal consecuencia debe seguir"; pero él no ha probado
" que el modo de propagación fuese idéntico; ha queda-
" do en la hipótesis y no ha establecido nada; ha emi-
" tido una idea inteligente, no ha edificado nada. Poui-
" llet al contrario ha descubierto experimentalmente el
" fenómeno y ha establecido la ley. Nuestro germanis-
" mo continúa callando el nombre del gran hombre y
" celebra el impotente" (1).

Veamos hasta qué punto es admisible esta severa apreciación: Ohm enunció la ley en 1827 como consecuencia de un meritorio esfuerzo destinado a introducir en el estudio de la electricidad medidas precisas; llegó a ella teóricamente, comparando la propagación eléctrica a la propación calorífica.

POUILLET se ocupó de la conductibilidad eléctrica de los metales en la misma época que Ohm, y llegó teórica y experimentalmente a la misma ley, en 1831.

En aquella época como lo hemos visto, Ohm y su obra eran casi desconocidos y POUILLET era ya célebre a pesar de ser más joven que su colega alemán.

POUILLET llegó sin duda a la ley con un trabajo físico más concluyente y más amplio; pero el mérito de Ohm es indiscutible y hasta es admirable pensar que por una hipótesis y un trabajo analítico haya podido descubrir tan importante principio.

Si nos detenemos un instante en el estudio histórico de la ley de Ohm, o de Ohm-Pouillet, veremos que, antes de Ohm y de POUILLET deben citarse los trabajos de RITTER, de DAVY y de ERMAN. Hemos visto (véase Davy) que RITTER había señalado diferencias de conductibilidad de la corriente galvánica en distintos metales sin poder hacer determinaciones exactas, y que DAVY (1822) creyó poder determinar la conductibilidad relativa de los metales por el tiempo que demoran, a condiciones iguales, en llegar a determinada temperatura. También debe recordarse a ER-

(1) "Revue Générale des Sciences", 1898, pág. 567.

MAN quien, ya en 1801, había tratado de observar la variación de la electrización en columnas líquidas de distintas alturas. BARLOW (1825) con procedimientos muy elementales había hecho una importantísima observación, pues había descubierto que dos conductores de un mismo metal tienen la misma conductibilidad cuando sus longitudes están en la misma relación que sus secciones, y BECQUEREL, en el mismo año de 1825, llegó a resultados iguales, estableciendo que la resistencia de un conductor es proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección.

Ohm se basó en 1826 en las experiencias de BARLOW y de BECQUEREL, y repitió y corrigió sus observaciones. Usó con tal fin el galvanómetro y, al principio, pilas de Volta que pronto reemplazó con pares termoeléctricos de bismuto y cobre, por indicación de POGGENDORFF, y en los cuales eliminaba las variaciones de fuerza electromotriz que había observado anteriormente, colocando las soldaduras, una en agua hirviendo y otra en hielo fundente. Confirmó así la observación de DAVY (véase) de la disminución de la conductibilidad del conductor cuando se eleva la temperatura, y estableció, en 1826, la fórmula $X = \frac{b + x}{a}$ en que X representa la acción magnética sobre el conductor de longitud (x) y "a y b" magnitudes constantes que dependen de la fuerza excitadora y de la resistencia de las partes restantes del circuito.

Extendió esta fórmula al acoplamiento de muchos elementos, al estudio de la acción de los multiplicadores y a condiciones especiales de los conductores. En 1827, reunió todas sus observaciones en su trabajo sobre "La corriente galvánica" donde, como lo hemos dicho, estableció la conocida "ley de Ohm".

POUILLET, con su estudio más completo, no sólo comprobó los resultados de Ohm sino que los hizo conocer en Francia y en Inglaterra donde era más intenso el movimiento científico, mientras que en Alemania no se daba a la obra de Ohm la importancia a la cual era acreedora. Prueba de ello es la afirmación de HOPPE: "Frente a la importancia fundamental de esta ley, es tanto más penoso constatar

que Ohm benefició sólo dos años antes de su muerte de la gratitud de su patria; es a la edad de 68 años que recién obtuvo el profesorado en una Universidad, la de Munich, en 1852".

FECHNER, en 1831, volvió a establecer los resultados obtenidos por BARLOW y BECQUEREL y confirmó la ley de Ohm, usando también para ello pilas hidroeléctricas, pero utilizando la duración de las oscilaciones de la aguja magnética para sus determinaciones.

Muchos fueron los físicos que, después de esta fecha de 1831, se ocuparon de la ley de Ohm, y entre ellos recordaremos a: WHEATSTONE, quien en 1843 hizo un estudio experimental de la ley; KOHLRAUSCH, quien en 1848 estudió la fuerza electromotriz de una pila; KIRCHHOFF, quien en 1853 verificó la ley de Ohm de un modo indirecto en el estudio de la distribución del calor en una lámina; GAUGAIN, quien en 1860 comprobó la ley con cuerpos muy malos conductores; WIEDEMANN, EBERT, BEETZ (1865) (1), MAXWELL, NERNST, ED. BECQUEREL, LECHER (1907) (2) etc.

En el estudio de la polarización de las pilas, ya hemos visto que RITTER, WILSON, HUMBOLDT y DAVY habían observado que se producía un debilitamiento de la corriente y que en un electrodo se encontraba oxígeno y en el otro hidrógeno (véase DAVY). Ohm volvió a ocuparse de la cuestión de la polarización y de las acciones de la corriente en las pilas, ratificando las observaciones de RITTER y de DAVY, y atribuyó el debilitamiento de la corriente a una "contra-tensión", oponiéndose a la idea de "resistencia de pasaje" emitida por ERMAN. En 1839, SCHOENBEIN, reuniendo las apreciaciones anteriores, sintetizó la conclusión de que las corrientes secundarias determinadas por los

(1) BEETZ (Berlín 1822-1886), físico alemán, director de la Escuela Superior Técnica. Estudió polarización galvánica y conductibilidad de los líquidos.

(2) CHWOLSON, t. X, págs. 112 y sigts.; BORDEAUX, "Hist. des Sciences", pág. 75-77; PITONI, "Storia della Física", pág. 285.

cuerpos polarizados provienen de una composición o de una descomposición química. Con LENZ (1846), y KOHLRAUSCH (1874) volveremos a seguir los progresos de esta cuestión.

Desde el punto de vista histórico también es importante recordar que Ohm era partidario de la teoría del contacto de Volta y que sus estudios de electricidad basados en ella, sirvieron de argumento a favor de los "voltaístas". (véase Volta)

En acústica, al hablar de DUHAMEL y de HELMHOLTZ recordaremos la intervención de Ohm en el estudio de la composición de las vibraciones sonoras, pero señalaremos aquí que, en 1843, Ohm reconoció que pueden existir sonidos exentos de armónicos y que el oído percibe en los sonidos compuestos, sonidos simples, pues es sensible a ondulaciones pendulares del aire y, frente a otras vibraciones, las descompone en aquellas que le son perceptibles.

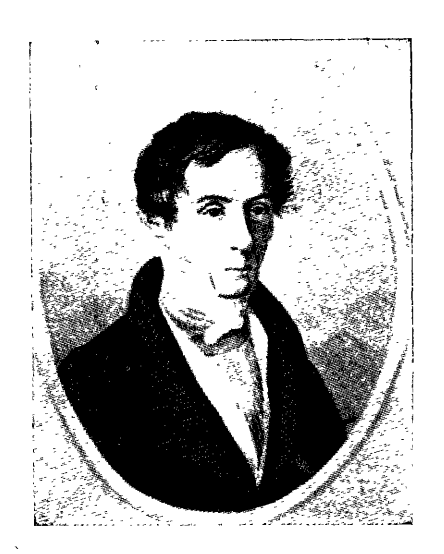
FRESNEL (1)
(1788-1827)

Difracción. Doble refracción. Teoría de las ondulaciones. Explicación de la difracción. Interferencias por reflexión. Espejos de Fresnel. Integrales de Fresnel. Anillos coloreados. Polarización circular. Polarización elíptica. Ondas transversales. Doble refracción. Compresión del cristal. Eter. Presión de la luz. Dilatación de los cristales. Faros.

AGUSTIN JUAN FRESNEL nació en 1788 en Broglie, cerca de Bernay (Eure, Francia) y murió en 1827 en Ville d'Avray.

(1) "Notices Biographiques" de ARAGO; "Oeuvres" de VERDET.

Era hijo de un arquitecto que la Revolución obligó a retirarse a una pequeña casa de campo de su propiedad, donde se dedicó exclusivamente a la educación de sus cuatro hijos. Agustín no se distinguió de sus hermanos; de constitución débil, sus estudios transcurrían con cierto retraso, y demostró siempre ser refractario a toda enseñanza clásica. Tenía sin embargo condiciones intelectuales que se revelaban en la lógica de sus razonamientos, la exactitud de su criterio y en su buen sentido; esas condiciones no pasaron inadvertidas a sus compañeros que le impusieron el profético apodo de "el hombre de genio". A los trece años, este



FRESNEL

inteligente y mal alumno acompañó a su hermano mayor a Caen, ciudad vecina de la aldea en que residían, y entró con él en la escuela secundaria; cuatro años más tarde, ingresaba a la Escuela Politécnica donde su hermano, brillante alumno, lo había precedido de un año.

En esa escuela superior, Fresnel ya no tuvo que preocuparse de estudios clásicos y pudo hacer valer sus dotes

naturales para las ciencias exactas, tanto así que el alumno mediocre que nunca había oído palabras de encomio en el curso de sus estudios primarios y secundarios, conquistó bien pronto la aprobación y la estima de su profesor, el célebre geómetra LEGENDRE.

A su salida de la escuela, Fresnel siguió los cursos especiales de Puentes y Caminos y, conquistado el título de ingeniero, fué designado para dirigir la construcción de caminos primero en Vendée y luego en el departamento de Drome. Su trabajo técnico le agradaba, pero encontraba "penoso tener que dirigir hombres" y "tener la necesidad de rezongar y hacerse el malo"; entonces, para distraerse de sus obligaciones, se ocupó sucesivamente de filosofía, de religión, de química y en fin de óptica, en 1814. En el mes de mayo de ese año, Fresnel escribió una carta a su hermano en la cual le pedía que le enviara un texto de Física y: "memorias que me pongan al corriente de los descubrimientos de los físicos franceses sobre la polarización de la luz. He visto en el "Moniteur", hace algunos meses, que BIOT había leído en el Instituto una memoria muy interesante sobre la "polarización de la luz". Por más que me rompa la cabeza no adivino lo que es...". En mayo de 1814, Fresnel decidió pues "entretenerse" en perfeccionar sus conocimientos de Física y quiso "saber algo acerca de la polarización de la luz", cuestión que él desconocía y que preocupaba a los sabios franceses desde que MALUS hiciera su redescubrimiento en 1808, ya que HUYGHENS ya la había observado en 1690 (véase Malus). Dos meses más tarde, en julio de 1814, Fresnel escribió a su hermano una nueva carta que puede ser considerada como el punto de partida de su corta pero gloriosa carrera científica. Decia en ella:

> " Según el sitema de NEWTON las moléculas
> " luminosas se lanzan de los cuerpos radiantes para
> " llegar hasta nosotros. Pero ¿no es probable que las
> " moléculas luminosas deban ser lanzadas con más o
> " menos velocidad ya que no se encuentran todas en las
> " mismas condiciones y que están expuestas a una re-
> " pulsión mayor que las otras? Ahora bien, si se admi-

" te que las moléculas luminosas, al salir del Sol por
" ejemplo, pueden tener distintas velocidades, resulta
" que deben tener distintos grados de refrangibilidad.
" Pero los rayos de un mismo color son siempre igual-
" mente refractados; debe suponerse pues que las dife-
" rencias de color se deben a diferencias de velocidad.
" Resultaría entonces que los primeros rayos que nos
" llegarían después de un eclipse solar serían rayos
" rojos; pues bien, según un cálculo que he hecho en
" esta hipótesis, pero del que no te garantizo la exac-
" titud, transcurriría bastante tiempo entre la llegada
" de los rayos rojos y de los rayos violetas para que per-
" cibiéramos esa diferencia de color. Bien sabemos que
" no ocurre nada de eso. Sácate, o más bien sácame, de
" ese apuro. Tu vives en la sociedad de sabios; si no lo
" alcanzas sólo, puedes con su ayuda pulverizar mis
" objeciones.

" A la espera de ellas, te confieso que estoy muy
" tentado de creer en las vibraciones de un flúido par-
" ticular para la trasmisión de la luz y del calor. Se
" explicaría la uniformidad de velocidad de la luz co-
" mo se explica la del sonido, y se vería quizás en los
" cambios de equilibrio de ese flúido las causas de los
" fenómenos eléctricos...".

En 1815, Fresnel fué destituído de su puesto por haber tomado las armas contra Napoleón cuando principiaron los Cien Días; fuése entonces a Normandía, cerca de su madre, pasando por París donde tuvo oportunidad de entrevistarse con algunos sabios y especialmente con ARAGO. En su nuevo retiro, Fresnel estudió la difracción; al poco tiempo, presentó dos memorias a la Academia, y ésta, accediendo a la solicitud de ARAGO, invitó al joven sabio a venir a París.

Fresnel realizó su inmortal obra científica de 1815 a 1826; fué pues en once años que este sabio construyó la Optica nueva y derrotó la teoría de las emisiones, sostenida por el prestigio de NEWTON, que mantenía en el olvido

desde un siglo y cuarto, a la teoría de HUYGHENS. Pero Fresnel, víctima de esa debilidad física que es tan a menudo la triste compañera de los hombres de genio, realizó entre su laboratorio y su puesto de examinador de la Escuela Politécnica una labor tan intensa que agotó bien pronto su poca resistencia; y, de 1824 a 1827, la tuberculosis apagó lentamente esa valiosa vida.

Desde 1823, Fresnel era miembro de la Academia de Ciencias; en 1825, perteneció a la Sociedad Real de Londres y, ocho días antes de su muerte, ARAGO, su amigo y colaborador, le remitió en nombre de esta última asociación científica, la medalla de Rumford.

La primera memoria de Fresnel, de 1814, trataba de la aberración anual de las estrellas, pero no agregaba nada a lo ya establecido por BRADLEY y CLAIRAUT, y su autor mismo se empeñó en hacerla olvidar.

Desde 1815, año en que estudió la difracción y la doble refracción, la obra de Fresnel consistió casi exclusivamente en la adaptación de la teoría de las ondulaciones a los grandes descubrimientos de óptica del primer cuarto del siglo XIX.

Recordemos que la teoría de las ondulaciones (ondulaciones longitudinales) se debe a HUYGHENS (véase), quien la estableció en 1690, y que sus precursores fueron HOOKE quien atribuía la luz a ondulaciones transversales a la dirección del rayo aunque creyera en la instantaneidad de su propagación, y el PADRE PARDIES, quien emitió una teoría de las ondulaciones luminosas en un manuscrito inédito en que HUYGHENS dice haberse inspirado. DESCARTES, que muchos autores consideran erróneamente como precursor de la teoría de las ondulaciones llegando hasta denominarla "teoría cartesiana de la luz", no tiene derecho alguno a ese título, pues como dice VERDET (1):

(1) Véase GAY, "Lectures Scientifiques", págs. 267-332.

"Descartes no considera la luz como un movimien-
" to propagado por ondas sucesivas sino como una pre-
" sión trasmitida instantáneamente por intermedio del
" segundo elemento; no puede además deducir de es-
" ta extraña noción la explicación de fenómeno algu-
" no... Es difícil poder concebir cómo Euler ha podi-
" do encontrar en esta vana doctrina un primer esbozo
" de la teoría de las ondulaciones y cómo esa afirma-
" ción de Euler ha podido ser repetida por todos..."

Hemos visto además, al hablar de HUYGHENS, que este sabio que tanto admiraba a DESCARTES, amigo de su padre, no atribuyó jamás valor alguno a sus afirmaciones sobre la teoría de la luz. Hemos visto también cómo YOUNG (véase) llegó a la teoría de las ondulaciones comparando las interferencias del sonido con las interferencias de la luz por él descubiertas, cómo explicó la difracción y los anillos coloreados por estas interferencias de ondas, cómo defendió las ondas longitudinales pero, más tarde (1817), vió la necesidad de considerarlas transversales y cómo su obra estuvo a punto de caer en el mismo olvido que la obra de HUYGHENS pues no llegó a convencer a los grandes defensores de la teoría de la emisión como LAPLACE, BIOT, POISSON, BREWSTER, MALUS, debido a su falta de demostraciones matemáticas. Agreguemos en fin, que WOLLASTON hizo una infructuosa tentativa de acercamiento entre los descubrimientos de YOUNG y los principios de HUYGHENS.

En la época en que Fresnel se abocó al estudio del problema principal de la óptica, los recientes descubrimientos de MALUS, ARAGO, BIOT, BREWSTER... exigían de toda nueva teoría de la luz, el perfecto esclarecimiento de los nuevos fenómenos; a la doble refracción, la difracción y las interferencias, se agregaba pues la polarización bajo sus diversos aspectos.

La teoría de la emisión atribuía la difracción a atracciones y repulsiones ejercidas por el cuerpo sobre las partículas luminosas. ¿Pero cómo explicar entonces que la difracción es independiente de la naturaleza del objeto? La teoría

de la emisión consideraba las interferencias como subjetivas, o sea como una ilusión de nuestros ojos. ¿Pero cómo explicar entonces que en las franjas obscuras había desaparecido también la acción química de la luz sobre el nitrato de plata? La refracción también ofrecía serias dificultades a la teoría de las emisiones, pues la obligaba a suponer como lo hacía NEWTON, que dentro de los cuerpos, el éter tiene una densidad menor que en el vacío, de lo que resultaba que en los cuerpos transparentes, la luz tendría una velocidad mayor que en el vacío, mientras que la experiencia demuestra lo contrario y da la razón a la teoría de las ondulaciones.

Frente a la teoría de las emisiones entraron en la lid: la teoría química defendida por PARROT, hipótesis que conserva sólo un interés histórico, y la teoría de las ondulaciones presentada por Fresnel primero con vibraciones longitudinales y luego con vibraciones transversales.

La teoría de la difracción de Fresnel (1) se diferencia fundamentalmente de la de YOUNG, pues demuestra que no hay interferencia entre rayos directos y rayos reflejados por el borde del objeto, como lo afirmaba YOUNG, ya que cubriendo un espejo con tinta china y dejando en limpio sólo una pequeña tira, se obtiene una difracción igual que haciendo pasar la luz por una abertura, de ancho igual, entre dos cilindros de cobre. Fresnel, buscando su inspiración en la teoría de HUYGHENS, no consideraba como YOUNG, el efecto de dos rayos, sino la combinación de dos ondas elementales, y establecía, con sus célebres "espejos de Fresnel" (2), que se puede producir las interferencias por reflexión sin necesidad de la difracción de las pantallas de Young.

Produjo difracción además no sólo con luz blanca sino también con luz roja y demostró que los hipérbolas de las franjas obscuras están de acuerdo con su teoría.

En la primera parte de su estudio se limitaba a la comprobación experimental de la teoría y adoptaba un proce-

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 23.
(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 383; GANOT, pág. 567.

dimiento de observación (1) de las interferencias que se recuerda en los textos conjuntamente con el de FRAUNHOFER (2). En la segunda parte de la memoria, Fresnel se ocupó de la demostración matemática e hizo resaltar la importancia de dos integrales (3), que desde entonces llevan el nombre de "integrales de Fresnel" pero de las cuales no nos corresponde ocuparnos.

La parte experimental del trabajo de Fresnel causó unánime admiración y su parte teórica mereció la entusiasta aprobación de muchos sabios y el respeto de los mismos defensores de la teoría de las emisiones.

Fresnel (1816), como YOUNG, había estudiado los anillos coloreados y los había comprendido en el estudio de las interferencias; luego se ocupó de la polarización bajo sus diversos aspectos conocidos o sea la polarización por doble refracción ya observada por HUYGHENS, la polarización por reflexión descubierta por MALUS, la polarización de simple refracción descubierta por MALUS, BIOT y BREWSTER, y la polarización cromática descubierta por ARAGO. En la explicación de este último fenómeno, Fresnel quiso hacer intervenir la interferencia entre el rayo ordinario y el rayo extraordinario como lo hiciera YOUNG, pero demostró al contrario que esa interferencia no era posible. Estudió entonces (1819) con ARAGO, los rayos polarizados y estableció con él sus leyes de reflexión, de refracción y las de interferencia, (4) que son, como se recordará: "1º Dos rayos polarizados en el mismo plano interfieren como rayos ordinarios.

2º Dos rayos polarizados en planos perpendiculares, no interfieren nunca.

3º Un rayo polarizado descompuesto en dos rayos polarizados en planos perpendiculares interfieren si se les lleva a planos de polarización paralela.

---

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 23.
(2) CHWOLSON, t. V, pág. 35.
(3) CHWOLSON, t. V, pág. 32.
(4) CHWOLSON, t. V, págs. 71-93.

4º Si estos rayos polarizados provinieran de un rayo natural no pueden interferir aunque se les lleve a un mismo plano de polarización".

Estas leyes le sirvieron para explicar la polarización cromática como un caso de polarización rotatoria, y de esta explicación teórica resultó el descubrimiento de la "polarización circular" pues estableció que la luz que atraviesa el cuarzo paralelamente a su eje se descompone en dos rayos polarizados circularmente de modo que en el cuarzo rotatorio a la derecha, el rayo de vibración dirigida hacia la derecha tiene una velocidad mayor que el que vibra hacia la izquierda.

Algo más se deduce de estas leyes y especialmente de la segunda, pues si dos rayos polarizados en planos perpendiculares no interfieren nunca, debe deducirse que, aunque los rayos sean paralelos, las ondas tienen direcciones distintas. De allí nació en Fresnel su convicción en la idea ya presentada por YOUNG a ARAGO (1817) de que las ondas son perpendiculares a la dirección del rayo y, de 1817 a 1821, se preocupó en demostrar este concepto nuevo de la teoría de las ondulaciones y en aplicarlo a los distintos fenómenos ópticos, exponiéndolo en forma concisa en su memoria: "De la luz".

Este concepto nuevo no recibió buena acogida, y LAPLACE, POISSON, BIOT, BREWSTER y muchos otros se rehusaron terminantemente a admitirlo. Pero YOUNG, en 1817, el alemán FECHNER (1) en 1832, ARAGO, FOURIER y AMPERE y poco después la gran mayoría

(1) GUSTAVO TEODORO FECHNER (Gross-Saerchen 1801-Leipzig 1887), físico alemán, es conocido sobre todo por sus estudios sobre propagación de la corriente en un hilo conductor, continuación de los trabajos de OHM, y por su activa intervención en la abundante producción científica provocada por el descubrimiento de VOLTA, recordándose especialmente en esa oportunidad el estudio de la "ley de las tensiones" de VOLTA y su explicación del fenómeno llamado "inversión de AVOGADRO". Fué precursor de DULONG y PETIT en observar que el coeficiente de dilatación varía con la temperatura. (Véase PFAFF).

de los sabios se dejaron convencer por las hermosas demostraciones y las claras comprobaciones de Fresnel.

Entre los argumentos de los adversarios de Fresnel, uno de los más temibles en apariencia se volvió al contrario un nuevo argumento a favor de las ondulaciones. POISSON llegó a demostrar que si los cálculos de Fresnel fuesen exactos se llegaría a la paradoja de que el centro de la sombra de un disco opaco sería iluminado en algunos puntos, y Fresnel comprobó los cálculos de POISSON y demostró que su deducción no sólo no era absurda, sino que, al contrario, era absolutamente exacta y reforzaba la teoría que pretendía destruir, o sea la explicación de la difracción por la teoría de las ondulaciones. ARAGO hizo además la demostración experimental de la deducción de POISSON.

Hemos visto ya (véase Poisson) que actualmente pueden ser admitidas dos teorías sobre la dirección de las ondas del rayo polarizado: la teoría de Fresnel, que considera esta dirección como perpendicular al plano de polarización y la teoría de NEUMANN (véase), que la coloca en el mismo plano (1). Ambas explican los fenómenos ópticos, pero la de Fresnel es la más generalmente admitida.

En 1818, la Academia de Ciencias organizó un concurso sobre la cuestión de los fenómenos de la difracción: ARAGO y AMPERE convencieron a Fresnel para que aprovechara esta oportunidad de presentar sus célebres trabajos, y éstos fueron coronados por unanimidad por la Academia, que hizo resaltar en su fallo que en ellos existía "un constante acuerdo entre el cálculo y la experiencia, hasta en los detalles los más minuciosos".

En 1821, Fresnel presentó su memoria sobre la doble refracción. HUYGHENS, como lo hemos visto, establecía que una de las refracciones sigue siempre la ley general de la refracción de DESCARTES; Fresnel demostró que

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 59; L. POINCARE, "Física Moderna", pág. 165.

en muchos cristales los dos haces de luz tienen una refracción anormal (1), y convenció de ello a los muchos dudosos, mostrando que, en un paralelipípedo de topacio formado por dos prismas de mismo ángulo colocados dorso a dorso, la luz es siempre desviada. Demostró además, que la doble refracción no es un privilegio de algunos y contados cristales sino que, al contrario, constituyen la excepción los cristales que no son birrefringentes. Provocó en fin la birrefringencia en un prisma de vidrio ejerciendo sobre él una fuerte presión (véase Brewster) (2), y dedujo de allí grandes consecuencias sobre la elasticidad, resultados que VERDET considera como la base de una ciencia nueva: "la teoría general de la elasticidad" (3).

Para su estudio de la polarización, supuso Fresnel que en la doble refracción las vibraciones del rayo ordinario son perpendiculares a la sección principal del cristal, mientras que las del extraordinario son paralélas a esa sección. Esta hipótesis es también contraria a la de NEUMANN que consideraba que las vibraciones del rayo ordinario son paralelas a la sección principal y las del rayo extraordinario perpendiculares.

ARAGO, AMPERE y FOURIER fueron encargados de redactar el informe acerca de la memoria de Fresnel sobre doble refracción y lo leyeron en la Academia en 1822:

"Inmediatamente después de la lectura del informe", dice VERDET (4), "LAPLACE tomó la palabra y, con esta generosidad de gran espíritu que, en el adversario de la víspera, se complace en reconocer y saludar a un igual, proclamó la importancia excepcional del trabajo que se acababa de informar; felicitó al autor por la constancia y la sagacidad que le habían hecho descubrir una ley que había escapado a los más habilidosos y, adelantándose al juicio de la posteridad, declaró que consideraba estas investigaciones

(1) GANOT, pág. 576.
(2) CHWOLSON, t. V, pág. 178.
(3) GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 309.
(4) Citado por GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 310.

por encima de todo lo que se había comunicado a la Academia, desde mucho tiempo atrás..."

Otro de los últimos defensores de las emisiones, BIOT (1), dijo, poco más tarde: "Es hoy casi imposible rehusarse a reconocer la realidad de ese modo de constitución luminoso (movimiento ondulatorio)" y proclamó con entusiasmo el genio de Fresnel.

Gracias a su descubrimiento de la polarización circular al cual hemos hecho referencia anteriormente, Fresnel pudo ampliar el estudio de MALUS sobre polarización; pero también contribuyó a ese estudio su descubrimiento de la "polarización elíptica" por reflexión en superficies metálicas. La polarización elíptica fué estudiada por BREWSTER (1830), por NEUMANN (1840), JAMIN (1848), CAUCHY (1854) y QUINCKE. BREWSTER y NEUMANN adoptaron un punto de vista distinto del de Fresnel; CAUCHY también propuso fórmulas distintas, pero emitió tres teorías diferentes y sus conclusiones provocaron gran resistencia pues imponían la admisión de un nuevo grupo de ondas: ondas longitudinales, aunque en la tercera teoría buscó la forma de hacer igualar a cero la velocidad de estas ondas longitudinales o sea de eliminarlas prácticamente, pues no descansaban en ninguna realidad física (2).

Fresnel fué también el primero en realizar una medida de longitudes de ondas, obteniendo, en la franja roja, el valor de:

$$L = 638 . 10^{-6} \text{ mm.}$$

No podemos hacer aquí un estudio detallado de la maravillosa obra de Fresnel ni de sus consecuencias; pero con sólo recordar que logró imponer a los grandes sabios de la época la teoría de las ondulaciones mantenida en el olvido

(1) Citado por GAY, "Lectures Scientifiques", pág. 310.
(2) HOPPE, "Hist. de la Phys.", pág. 336-343.

o rechazada desde 1690, y agregando que la estableció tan científicamente que ha pasado un siglo y que las simplificaciones o pequeñas alteraciones introducidas en ese tiempo no cambian en nada su teoría, podemos concebir toda la trascendencia de la obra de Fresnel.

Debe observarse además que es injusta la afirmación, tantas veces repetidas en resúmenes demasiado abreviados de la historia de las ondulaciones, por la cual se limita la influencia de Fresnel a la simple imposición de la teoría de HUYGHENS, largo tiempo olvidada. Fresnel impuso, modificó y desarrolló genialmente la teoría de HUYGHENS. Modificó su principio mismo, pues sabemos que HUYGHENS sólo estudiaba la onda producida por una impulsión de las partículas de la fuente luminosa y aislaba esta onda como si no recibiera el efecto de otras ondas semejantes; ésta era, como dice VERDET, "la laguna de la teoría de HUYGHENS". Fresnel consideró la sucesión de ondas, combinó sus efectos y "reemplazó la hipótesis arbitraria según la cual la excitación luminosa debe ser sensible tan sólo en la superficie envolvente de las ondas elementales, por la fundamental observación de que las ondas elementales actúan en todos sus puntos de encuentro de acuerdo con el principio de las interferencias" (1).

Desde 1819, Fresnel formaba parte de la Comisión de los Faros y se dedicó epecialmente a este cometido en los últimos años de su vida, pero antes de estudiar los perfeccionamientos que aportó a estos aparatos y antes de dejar el estudio de su obra teórica, citaremos aún sus ideas sobre la presión de la luz, algunos de sus conceptos sobre el éter y su estudio de la dilatación de los cristales.

El éter, tal como lo concebían los antiguos, como un elemento de la materia, no tiene para la física un verdadero valor; DESCARTES volvió a introducir el éter como "segundo elemento"; pero sólo fué en la época newtoniana

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 18. "Principio de HUYGHENS rectificado por FRESNEL".

que se empezó a considerar el éter como concepto físico relacionado con la atracción universal (véase Newton). HUYGHENS, con la teoría de las ondulaciones, reforzó la hipótesis del éter y obligó a atribuir a ese medio todas las condiciones necesarias a la propagación de la luz; todos los nuevos descubrimientos acerca de la energía radiante significaron en definitiva tantas otras ampliaciones del concepto del éter en cuya historia se destacan por consiguiente los nombres de YOUNG, Fresnel, FARADAY, AMPERE, MAXWELL y HERTZ (1).

NEWTON consideraba el éter como un flúido sumamente elástico, de viscosidad casi nula, formado por partículas muy pequeñas animadas por una gran fuerza de repulsión; este flúido penetraría en todos los cuerpos, variando de densidad según el cuerpo en que se encuentre y siendo mayor su densidad al estado libre que en el interior de la materia o lejos de los astros que cerca de ellos; sería la causa de la cohesión, de la elasticidad, de la atracción universal, de las acciones eléctricas y magnéticas.

YOUNG consideraba que el éter es un flúido rarificado y sólido a la vez, que atraviesa los cuerpos "como el viento pasa a través de los árboles".

Fresnel, en su explicación de la aberración de la luz, consideró el éter libre, como absolutamente inmóvil, pero parcialmente llevado por los cuerpos refringentes en movimiento. Le atribuía también una densidad variable con una elasticidad constante, mientras que NEUMANN le atribuía una densidad constante y una elasticidad variable.

MAC CULLAGH (1809-1847) defendió la misma tesis que NEUMANN en el mismo año (1835) y elaboró una teoría en que se vió obligado a proponer una hipótesis de la rotación del éter que KELVIN (W. THOMSON) pudo evitar sin modificar la teoría en sí (1889).

La inmovilidad absoluta del éter defendida por YOUNG y por Fresnel, en oposición a STOKES, tiene a

(1) GUILLEMINOT, "Les nouveaux horizons de la Science", t. II, pág. 112; L. POINCARE, "Física Moderna", pág. 156.

su favor varios fenómenos entre los cuales los más comprobatorios son la aberración y la experiencia de FIZEAU (véase) (1) (1851). Este experimento parece también dar razón a la posible movilidad del éter "arrastrado" por cuerpos refringentes en movimiento; y este punto, no resuelto aún y que tanto preocupa a los físicos de nuestros días, fué estudiado a fines del siglo XIX por LORENTZ y ZEEMAN que consideraron que el experimento de FIZEAU es, al contrario, una comprobación de la inmovilidad absoluta del éter y de la perfecta permeabilidad de los cuerpos con relación a él. Por otra parte, el resultado negativo del célebre experimento de MICHELSON y MORLEY (2), con el cual se pretendía hacer interferir un rayo luminoso de la misma dirección pero de sentido opuesto al movimiento de la Tierra con otro rayo perpendicular a este movimiento, haría pensar que el éter no es inmóvil y que la Tierra lo arrastra en su movimiento. FITZGERALD y LORENTZ propusieron una hipótesis de contracción de la materia que conciliaría el resultado negativo del experimento de MICHELSON y MORLEY con la inmovilidad del éter (3); pero esta hipótesis no fué admitida. La teoría de la relatividad de EINSTEIN, en fin, explicaría el por qué de la imposibilidad del fin perseguido por MICHELSON y MORLEY.

La fórmula de Fresnel (4) (1818) sobre la velocidad del éter en los cuerpos refringentes en movimiento, es la siguiente:

$$u = \frac{n^2 - 1}{n^2}$$

en que u es la velocidad del éter, v la velocidad del cuerpo y n su índice de refracción. En 1851, FIZEAU comprobó en forma ingeniosa esta fórmula de Fresnel (véase Fizeau).

---

(1) PICARD, "La Ciencia Moderna", pág. 131.
(2) CHWOLSON, t. III, pág. 320; J. BECQUEREL, "Théorie d' Einstein", pág. 27.
(3) J. BECQUEREL, ob. cit., pág. 31; CHWOLSON, t. III, pág. 330 y t. XII, pág. 208.
(4) CHWOLSON, t. III, pág. 327 y t. XII, pág. 206.

En 1876, KIRCHHOFF hizo el estudio analítico del movimiento del éter en los medios cristalinos y supuso el éter sólido, homogéneo, elástico, de densidad constante, sujeto a presiones en las partes intermedias entre dos medios resultantes de la acción de las partículas materiales del nuevo medio en que penetra, y sujeto también a las fuerzas producidas por un "arrastre" relativo.

Otra cuestión estudiada por Fresnel y que todavía preocupa a los sabios modernos, es la presión de la luz.

BAYLE, HOMBERG (1708) y DE MAIRAN (1754) quisieron comprobar si la luz ejercía una presión sobre los cuerpos como lo hacía suponer, mucho más que la teoría de las ondulaciones, la teoría de las emisiones, y como lo habían vislumbrado KEPLERO, LONGOMONTANO (1) y EULER. Fresnel se ocupó de la misma cuestión en 1825, pero no llegó a resultados satisfactorios; más tarde FAYE, BARTOLI (2) (1874), CROOKES (1875), MAXWELL, ZOLLNER (3), LEBEDEFF (1899),

(1) LONGOMONTANO (Langberg, Jutlandia 1562-Copenhague 1647), de verdadero nombre CRISTIAN SEVERIN, fué amigo y discípulo de TYCHO BRAHE y atacó injustamente a KEPLERO. Se le atribuye el invento de los logaritmos sin que esta afirmación disminuya el mérito de NEPER.

(2) ADOLFO BARTOLI (1851-1896) llegó a la conclusión de la presión de la luz como explicación de un fenómeno termodinámico que BOLTZMANN explicó sin esa hipótesis.

(3) CARLOS FEDERICO ZOLLNER (Berlín 1834-Leipzig 1883) fué, más que un físico, un astrónomo y un astrofísico de gran prestigio. Fué profesor en la Universidad de Leipzig. Al fin de su vida se dedicó al espiritismo. Se le debe un fotómetro para medida de la luz de las estrellas (1859) y, veinte años más tarde, (1879), aplicó con el mismo fin el radiómetro que CROOKES inventó en 1875. Gracias al estudio de Zollner del péndulo horizontal (1869), este aparato, construído por REBEUR-PASCHWITZ, fué adoptado universalmente como seismógrafo, a pesar de que ya había sido imaginado, sin lograr imponerse, por el estudiante LORENZO HENGLER (Munich 1806-1858) y que PARROT había hecho un estudio del mismo (1862).

El "espectroscopio de reversión" de Zollner (1869) con dos prismas de AMICI lado a lado en posiciones opuestas enviando dos espectros opuestos al objetivo, fué un gran progreso en la evolución de la espectrometría. Recordemos que MEYERSTEIN construyó el primer espectrómetro (1856) y que AMICI introdujo en 1860 el prisma de vi-

ARRHENIUS (1900), POYNTING (1) (1904) obtuvieron mejores resultados; el experimento decisivo fué el de LEBEDEFF; la explicación más sencilla fué la de LARMOR; y POYNTING evaluó la presión de la luz solar sobre la Tierra a 70.000 toneladas (2).

En 1824, Fresnel estudió también la dilatación de los cristales y comprobó el descubrimiento hecho por MITSCHERLICH, en el mismo año de 1824, de que en los cristales de un eje, de sistema cuadrado o hexagonal, la dilatación en el sentido del eje cristalográfico y del eje óptico es mayor o menor que en la dirección de los ejes accesorios en los cuales es uniforme, mientras que en los cristales de dos ejes ópticos la dilatación es diferente en cada una de las tres direcciones.

Terminaremos el estudio de Fresnel con una breve reseña de la historia de los faros (3), en la que el nombre del joven ingeniero francés ocupa también un lugar preponderante.

Desde la más alta antigüedad se acostumbraba encender fuegos en puntos prominentes de las costas para facilitar la navegación, y se imaginó bien pronto construir torres con este fin. La más célebre de esas "torres de fuego" de la antigüedad fué sin duda la que SOSTRATO de CNIDO elevó, a fines del siglo IV antes de nuestra era, en la entrada del puerto de Alejandría, en la pequeña isla de "Faros", cuyo nombre nos da la etimología de la palabra "faro". La parte de los faros antiguos que debía ser perfeccionada, era

---

sión directa. Zollner inició el estudio espectroscópico de la aurora boreal (1870), estudió la incandescencia de los hilos conductores ya estudiada por DAVY (véase este físico) y por MULLER (1849), sin llegarse a la ley general; agregó (1876) a la ley de KIRCHHOF la influencia del espesor y de la densidad de la capa emisora.

(1) JUAN E. POYNTING (Monton 1852-1914), físico inglés, profesor en la Universidad de Birmingham. Se ocupó de la densidad de la Tierra (1904) y de la teoría electromagnética de MAXWELL (1884).

(2) CHWOLSON, t. III, pág. 308; GUILLEMINOT, ob. cit., t. II, pág. 208; PICARD, "La Ciencia Moderna", pág. 138.

(3) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. IV, págs. 415-528; ARAGO, "Notices Biographiques".

la fuente luminosa, pues la construcción de la torre fué en muchos de ellos más perfecta y más artística que en los faros modernos. El primer perfeccionamiento en el alumbrado del faro consistió, a fines del siglo XVII, en reemplazar el fuego de leña o de hulla por un gran número de velas encendidas en una linterna de grandes proporciones. A fines del siglo XVIII, se adaptó la lámpara de aceite con reflector metálico esférico; en 1783, TEULERE, ingeniero en Burdeos, empleó reflectores parabólicos y, como disminuían la amplitud del haz luminoso, adaptó a las lámparas un movimiento de relojería a fin de hacerlas girar y para alumbrar sucesivamente todos los puntos del horizonte. BORDA fué encargado de la construcción y del estudio de esos faros de eclipses y reemplazó la lámpara simple por una lámpara de ARGAND.

Fué en Inglaterra que se intentó por primera vez reemplazar el alumbrado con reflectores por alumbrado refractado por lentes, pero el proyecto fué abandonado.

En 1811, el gobierno francés designó una comisión permanente de faros, en la cual incluyó a ARAGO; este sabio se preocupó relativamente poco de la cuestión pero hizo integrar la comisión con Fresnel, en 1819. Este se consagró con entusiasmo al estudio de los faros, y convencido de la superioridad del sistema lenticular, dirigió todos sus esfuerzos hacia el aumento de intensidad luminosa del foco y la adaptación del tipo de lente más apropiado. Resolvió la primera parte del problema en colaboración con ARAGO adoptando el sistema de mechas concéntricas de RUMFORD (véase) y evitando el inconveniente de la carbonización de las mechas con la aplicación del sistema CARCEL. A este importante perfeccionamiento, que proveía el faro de una lámpara de poder 25 veces mayor al de la lámpara de ARGAND, Fresnel agregó el genial invento de las lentes escalonadas, que ofrecen sobre las lentes biconvexas las ventajas de corregir la aberración de esfericidad, de disminuir el espesor del vidrio con considerable aumento de su transparencia y con la reducción de su peso.

Fresnel supo, y reconoció después de realizar su inven-

to, que BUFFON había imaginado ya lentes escalonadas para el estudio del calor radiante y que CONDORCET había emitido la idea de construir lentes parecidas, formadas por trozos independientes.

BREWSTER (véase) pretendió tener derechos anteriores a este invento, pero los autores ingleses que defienden esta pretensión, parecen haber sido inspirados por su patriotismo más que por el valor de las pruebas en las cuales apoyan su defensa.

PONCELET
(1788-1867)

Dinamómetro. Rueda hidráulica. Concepto de trabajo.

JUAN PONCELET, el inventor del conocido dinamómetro que lleva su nombre, nació en Metz en 1788 y murió en París en 1867.

Poncelet fué alumno de la Escuela Politécnica y de la Escuela de Artillería; entró en el cuerpo de ingenieros y fué oficial en el cuerpo del Marical Ney. Durante la retirada de Rusia, fué hecho prisionero en la batalla de Krasnii (1812) y recobró la libertad con la paz de 1814. Durante sus dos años de cautiverio, se ocupó de mecánica y de geometría descriptiva, y, a su regreso a Francia, fué nombrado profesor de la Escuela de Aplicación de Metz. Sus importantes obras de Matemáticas y de Mecánica Aplicada lo hicieron considerar como uno de los más valiosos elementos de la "Escuela de MONGE". En 1834, fué nombrado profesor de la Academia de Ciencias y profesor de Mecánica en la Facultad de Ciencias de París y en el Colegio de Francia.

Poncelet inventó, además del conocido dinamómetro (1), una rueda hidráulica (1825) que también lleva su

(1) GANOT, pág. 17.

nombre, y dejó importantes obras entre las cuales se destacan su "Hidráulica Experimental", su "Curso de Mecánica" (1826), que MACH incluyó en su "lista de los principales fundadores de la mecánica y sus obras" (1).

Hemos seguido en diversas partes de esta obra y, en último lugar en la monografía de YOUNG, la evolución del concepto de "trabajo" en la historia de la Física. Hemos dicho que este concepto ya señalado en KEPLERO, en GALILEO, en EULER y, en forma práctica, en WATT, fué introducido por vez primera en la Física por YOUNG (1807) quien lo relacionó con la fuerza viva y el calor. BIOT, más tarde, en su célebre tratado de Física, no recogió esa acertada innovación de YOUNG, pero Poncelet en su "Introducción a la Mecánica Industrial", estableció claramente el concepto de "trabajo" y lo relacionó terminantemente con la fuerza viva, apoyado en ello por G. CORIOLIS (2).

Poncelet llegó al grado de general (1848) y fué Comandante de la Escuela Politécnica (1848-1850) y diputado (1848).

A. C. BECQUEREL
(1788-1878)

Termoelectricidad. Serie termoeléctrica. Aguja termoeléctrica. Endósmosis eléctrica. Pila de corriente constante (Pila Daniell). Diamagnetismo del antimonio. Piezoelectricidad. Fotómetro electroquímico. Balanza electromagnética. Galvanómetro diferencial.

ANTONIO CESAR BECQUEREL, padre de EDMUNDO BECQUEREL, abuelo de ENRIQUE BECQUEREL y bisabuelo de JUAN BECQUEREL, todos grandes

(1) MACH, "La Mécanique", pág. 496.
(2) KISTNER, "Historia de la Física", pág. 158.

físicos franceses, nació en Chatillón-sur-Loing (Loiret) en 1788 y murió en París en 1878.

Egresó de la Escuela Politécnica a los veinte años como teniente del Cuerpo de Ingenieros e inició de inmediato una activa carrera militar, asistiendo a numerosas batallas y destacándose en Tarragona (España) y en el curso de la campaña de 1814. A los veintisiete años, con el grado de comandante y el título de Caballero de la Legión de Honor, sus heridas lo obligaron a renunciar a la carrera militar y Becquerel se dedicó a las ciencias.



A. C. BECQUEREL

Sus primeros trabajos pertenecen a la Mineralogía y a la Geología; pero cuando los grandes descubrimientos de OERSTED, de AMPERE y de ARAGO presentaron un nuevo y vasto campo de investigaciones, Becquerel fué de los muchos sabios que se dedicaron al estudio de los nuevos fenómenos eléctricos.

A. C. Becquerel puede ser considerado como uno de los principales fundadores de la Electroquímica, ciencia a la

cual aportó interesantes descubrimientos; estudió también eficazmente la termoelectricidad, que separó absolutamente de la electricidad de origen químico, pues comprobó que se producía igualmente en el vacío o en los gases inertes (1). Determinó una serie (2) de metales cuyo orden hace conocer de inmediato el sentido de la corriente termoeléctrica que resultaría de la asociación de dos de sus componentes, como ya había tratado de hacerlo SEEBECK sin éxito.

Inventó el muy conocido termómetro eléctrico o "aguja termoeléctrica" (3) que consiste en un par termoeléctrico cuya corriente pasa por un galvanómetro. Para determinar una temperatura con este aparato, se introduce una soldadura en el ambiente estudiado y la otra en un líquido de temperatura variable a voluntad y fácilmente determinable; cuando el termómetro no se desvía es prueba de que las dos soldaduras tienen la misma temperatura o sea que la temperatura desconocida es igual a la temperatura conocida tomada como referencia. Toda la ventaja de ese termómetro consiste en la facilidad de introducir una pequeña soldadura de un par termoeléctrico en lugares donde sería difícil llevar un termómetro común; puede ser introducido así en el cuerpo de animales sin causar lesiones apreciables, en el subsuelo sin necesidad de excavaciones o puede ser llevado a las capas superiores de la atmósfera sin necesidad de ascensiones, etc. Recordamos que ya hemos señalado la utilización termométrica del par termoeléctrico al estudiar a SEEBECK, OERSTED y PELTIER, y señalamos que ese procedimiento había de ser impuesto por NOBILI (1833).

El estudio de la descomposición de soluciones por la electricidad fué iniciado, como ya lo hemos visto, por todo un grupo de investigadores, quienes inmediatamente después del invento de la pila se dedicaron a la observación de los efectos de la corriente y a la investigación de sus causas; hemos destacado especialmente el estudio de DAVY

(1) GANOT, pág. 631.
(2) GANOT, pág. 630.
(3) GANOT, pág. 207.

así como la intervención de SEEBECK y de BERZELIUS, siendo todos esos trabajos preparatorios de la obra que sobre electrólisis debía realizar FARADAY. Ese importante episodio de la evolución de la electricidad recibió también el aporte eficaz de la colaboración de Becquerel, en 1823. REUSS había observado, en 1809, el transporte del electrólito en el sentido de la corriente; WOLLASTON (1810) realizó esfuerzos para demostrar el mismo fenómeno en el organismo animal; y PORRET, en numerosas experiencias (1816-1820), observó el mismo transporte separando la fuente en que se encontraba la solución a descomponer con una membrana animal. Becquerel separó la solución colocando en la fuente un vaso poroso y observó así, con soluciones salinas, una endósmosis eléctrica. DANIELL (1) (1842) y WIEDEMANN ampliaron el estudio de esta cuestión.

En 1826 y 1829, Becquerel — como consecuencia de esas investigaciones — inventó la primera pila de dos líquidos y de corriente constante, invento atribuído generalmente a DANIELL quien, si bien logró resultados más satisfactorios, sólo lo hizo en 1836. Becquerel (1826) repartió un recipiente en tres partes por medio de dos tabiques de vejiga; puso en la repartición del centro un ácido en solución salina, en una repartición extrema sumergió el electrodo de cobre en una solución de nitrato de cobre y en la tercera repartición colocó el electrodo de zinc en sulfato de zinc.

---

(1) JUAN FEDERICO DANIELL (Londres 1790-1845), físico, químico y meteorologista inglés, perteneció desde 1814 a la Sociedad Real de Londres y fué profesor de King's College y examinador de la Universidad de Londres.

En física, su nombre es recordado por sus estudios sobre los electrólitos y por tres inventos: el higrómetro de condensación, la pila de corriente constante de Daniell y su pirómetro.

El higrómetro de condensación (CHWOLSON, t. VIII, pág. 79), que ideó en 1820, no era un invento original pues, ya en 1751, LEROY observaba la temperatura en que se forma el rocío en el exterior de un recipiente con agua en el cual echaba pedacitos de hielo. La Academia del Cimento de 1657 a 1667 habría también conocido un higrómetro de condensación; y el aparato de Daniell derivaba, en fin, del crióforo de WOLLASTON (1814).

Con esta pila, después de media hora de funcionamiento, se notaba una fuerte disminución en la corriente. Becquerel adoptó diversos modelos de resultados cada vez más satisfactorios (1). En 1833, DANIELL adoptó un dispositivo consistente en un cilindro de cobre en cuyo centro colocaba como división porosa cilíndrica una laringe de buey. En el interior de esta repartición, colocaba el zinc en una solución de ácido sulfúrico que renovaba en forma continua, manteniendo el nivel constante por medio de un tubo de salida, a fin de eliminar el sulfato de zinc. Entre el tubo (la laringe) y el cilindro de cobre, colocaba la solución de sulfato de cobre con una reserva de cristales en suspenso por un procedimiento sencillo. Era la "pila de Daniell", la que ha sufrido luego diversas modificaciones en su dispositivo.

Después de estudiar los distintos orígenes de la electricidad, Becquerel llegó a la conclusión de que el trabajo químico, el calor, la presión y el frotamiento deben ser considerados como poderes equivalentes, pues tienen los mismos efectos eléctricos.

En 1827, Becquerel observó el diamagnetismo en el antimonio; pero BRUGMANS ya lo había observado en 1778 en el bismuto, colocando trozos de este cuerpo en flotadores en la superficie del agua o del mercurio y acercándoles los polos de un imán (2).

También estudió la polarización eléctrica en la turmalina en los cambios de temperatura. Hemos seguido los progresos de la "piroelectricidad" o sea "electricidad producida por el calor" en los cristales, y hemos señalado especialmente los estudios de AEPINUS (1756), CANTON (1759) (véase), BERGMANN (1762), WILSON (1763), WILKE (1768), HAUY (1778 y 1808). HAUY, en 1778, observó la asimetría de la turmalina y atribuyó a esa asimetría sus propiedades piroeléctricas. En 1808, el mismo sabio generalizó esa observación a los otros cristales y ob-

(1) GANOT, p. 626.
(2) CHWOLSON, t. XI, p. 444.

servó además que en los cristales piroeléctricos, la electrización puede ser producida también por presión. En 1827, Becquerel amplió este estudio de la producción de electricidad por presión, que fué designada desde entonces "piezoelectricidad". Becquerel comparó el cristal a un cemento de moléculas polarizadas aisladas por el aire intermedio, en el cual el calor o la presión permite el movimiento de electricidad en las extremidades. Más tarde, HANKEL (1839) creyó descubrir la "actino electricidad" o sea electricidad debida a la luz que es un caso de "piroelectricidad"; y, a fines del siglo XIX, los dos hermanos CURIE, VOIGT y RIESE ampliaron el estudio del fenómeno.

En óptica, debe recordarse el fotómetro electroquímico (1839) de Becquerel, que fué el primer aparato de esa naturaleza y que ha sido modificado por muchos físicos (1). En ese aparato, cuyo uso debe ser limitado al caso de fuentes luminosas de naturaleza idéntica y por consiguiente de mismos efectos químicos, Becquerel quiso encontrar el medio de evitar los errores debidos al procedimiento subjetivo de los fotómetros ordinarios sometidos a la observación visual. En sus primeros fotómetros se observaba la corriente producida entre dos electrodos colocados en una solución química muy sensible a la luz. Más tarde, en el "actinómetro" constituído por dos láminas de plata cubiertas de ioduro de plata y sumergidas en una solución de sulfato de sodio, colocaba un electrodo en la luz y otro en la obscuridad, midiendo la intensidad de la corriente engendrada por la descomposición del ioduro.

Hemos visto ya que OHM (véase) inició sus investigaciones sobre conductibilidad eléctrica repitiendo experiencias de BARLOW y de Becquerel.

En 1837, Becquerel propuso tomar como unidad de intensidad de corriente, la corriente que descompone en un tiempo igual a la unidad, una unidad de peso (1 mgr.) de

(6) CHWOLSON, t. IV, p. 267.

cobre o de plata. JACOBI, diez años más tarde, volvió a estudiar ese punto.

En 1846, Becquerel dió a conocer dos inventos más: la balanza electromagnética y el galvanómetro diferencial (1).

Antonio César Becquerel murió a los noventa años, siendo decano de la sección de física de la Academia de Ciencias, a la que pertenecía desde 1829. Era además miembro de la Sociedad Real de Londres, de la Academia de Ciencias de Berlín y de varias otras sociedades científicas

Entre sus numerosas obras de electricidad, se recuerda especialmente su "Tratado de la Electricidad y del Magnetismo" (1833-1840) y su "Historia de la Electricidad y del Magnetismo".

CAUCHY
(1789-1857)

Teoría del choque. Movimiento ondulatorio. Dispersión. Teoría de la luz.

AGUSTIN LUIS CAUCHY nació en París en 1789 y murió en Sceaux en 1857.

Este célebre matemático francés, que puede ser considerado con GAUSS como el mejor representante de la matemática del siglo XIX por su fecundidad y más aún por su corrección y su sagacidad, intervino también en la física en su carácter de matemático, y su nombre está unido al estudio analítico de la elasticidad y de la luz.

Cauchy era hijo de un administrador del Estado, de gran preparación humanista, quien dirigió los estudios de su hijo hacia una tendencia absolutamente literaria. Es así cómo Cauchy, a los 15 años de edad, ganó el gran premio

(1) CHWOLSON, t. XI, p. 614.

otorgado por Napoleón al mejor alumno de humanidades. Sin embargo, al año siguiente, con sólo una preparación de diez meses, obtuvo el segundo puesto en el concurso de admisión de la Escuela Politécnica, donde, bien pronto, se mantuvo en el primer puesto por sus brillantes estudios en matemáticas. A su egreso, fué nombrado ingeniero de las obras del puerto de Cherburgo, pero su poca salud le obligó a renunciar a su cargo y volvió a París, donde se dedicó a las matemáticas.

Cauchy era, como su padre, fervorosamente católico y ciegamente adicto a los Borbones. Luis XVIII, a su regreso, excluyó a MONGE de la Academia de Ciencias e impuso la candidatura de Cauchy, ya célebre por su solución de grandes problemas de matemáticas. En 1815, su memoria sobre la propagación de las ondas le mereció el gran premio del Instituto. Hasta 1830, fué profesor en la Escuela Politécnica, en la Sorbona y en el Colegio de Francia, pero en ese año, en la Revolución de Julio, siguió a Carlos X en el destierro y se dedicó a la educación del nieto del rey, el conde de Chambord. Fué entonces, en Praga, que terminó y publicó sus estudios matemáticos de la teoría de la luz y especialmente de la dispersión.

En 1838 volvió a París, sin reconocer sin embargo el régimen de Luis Felipe, y fué nombrado profesor en el Colegio de Francia. La Revolución de 1848 no le molestó pero, en 1852, siempre fiel a sus ideas políticas, rehusó prestar juramento a Napoleón III y fué alejado por dos años de sus cargos.

La obra física de Cauchy es demasiado analítica para ser estudiada aquí y sólo podemos señalar que su nombre, citado frecuentemente en esta obra, está unido a la mecánica y a la óptica por los siguientes motivos:

Como ya lo hemos dicho, en 1815, un año antes de POISSON, estudió las ondas acuáticas en agua de profundidad supuesta infinita. Este es un caso particular del movimiento ondulatorio cuyo estudio remonta a la antigüedad y que fué ampliamente tratado por WEBER (véase). Como POISSON nuevamente, amplió la teoría de EULER

sobre varillas vibrantes, cuestión cuyo estudio fué continuado por SEEBECK (1846).

En 1826, o sea diez años después de POISSON, hizo un estudio analítico del choque, considerando el fenómeno como un caso particular de aplicación de la teoría de la elasticidad, tal como lo había propuesto EULER (1746).

En su memoria sobre la dispersión de la luz, Cauchy corrigió las fórmulas de dispersión de DOLLOND (1753) y de RUDBERG (1827); y en su estudio general de la luz estableció tres teorías distintas con la verificación de las leyes de FRESNEL a las cuales aplicaba las teorías de NAVIER (1821) sobre vibraciones de las partículas de un sólido elástico, ya que FRESNEL consideraba como tal el éter. (Véase FRESNEL y NEUMANN).

Cauchy aplicó también su vasta preparación matemática al perfeccionamiento de fórmulas y de cálculos astronómicos.

DAGUERRE
(1789-1851)

Fotografía.

LUIS JACOBO DAGUERRE nació en Cormeilles (Sena-y-Oise) en 1789 y murió en Petit-Brie en Marne en 1851.

Daguerre, con quien continuamos la historia de la fotografía que iniciamos con NIEPCE (véase), era pintor y se había especializado en la decoración teatral, arte en el cual había causado una verdadera revolución con ingeniosos efectos luminosos. Entregado por completo a dicho arte, en que el ingenio debe unirse al talento, imaginó su célebre "diorama", y, en 1822, abrió en un boulevard de París un establecimiento en que se admiraban cuadros de maravillosa luminosidad y de asombrosa realidad, cualidades consegui-

das por una ejecución minuciosa y sobre todo una hábil iluminación (1).

El invento de la fotografía, que ya se volvía cuestión de actualidad, entusiasmó a Daguerre, quien se puso de inmediato en correspondencia con NIEPCE, y éste, después de tres años de vacilaciones (de 1826 a 1829), aceptó la colaboración de Daguerre y le confió sus procedimientos secretos.



NIEPCE Y DAGUERRE

A pesar de esta asociación, los dos inventores siguieron trabajando cada uno por su lado, pero se comunicaban continuamente sus resultados y sus nuevos proyectos. Daguerre descubrió la acción de la luz sobre el ioduro de plata y lo sustituyó al betún de Judea, pero debe notarse que este descubrimiento ya había sido hecho por NIEPCE, quien no creyó conveniente utilizarlo.

---

(1) Véase Figuier, "Merveilles de la science", t. III, p. 1-188.

En 1831, Daguerre observó que se puede reforzar la imagen obtenida en una lámina de plata iodada exponiéndola, inmediatamente después de sacarla de la cámara obscura, a vapores de petróleo o, mejor aún, de mercurio. Este puede ser considerado como el descubrimiento del primer "revelador".

En 1839, en fin, la "daguerreotipía" fué presentada a la Academia de Ciencias y a la Cámara de Diputados por ARAGO, y este último cuerpo otorgó una pensión a Daguerre y otra a ISIDORO NIEPCE, hijo de JOSE NICEFORO, quien había muerto seis años antes de este triunfo de sus ideas.

En el mismo año de 1839, el diorama de Daguerre fué completamente destruído por un incendio y el inventor se dedicó exclusivamente al perfeccionamiento de la "daguerreotipía".

El procedimiento de Daguerre era el siguiente: para preparar la placa, se exponía a los vapores de iodo una lámina de cobre plateado, formándose así la capa sensible de ioduro de plata. En la cámara obscura, la imagen se formaba por la descomposición completa del ioduro en las partes impresionadas por luz intensa, por su descomposición parcial en la luz difusa y por su conservación total en las partes obscuras, obteniéndose así los tonos y medios tonos. Esta descomposición sólo se hacía perceptible después de la exposición de la placa a los vapores de mercurio que se condensan únicamente en las partes afectadas por la luz. Luego se "fijaba" la placa, es decir que se disolvía en hiposulfito de sosa el ioduro de plata que había quedado en los lugares obscuros y que, sin esta manipulación, se impresionarían en la luz.

De lo que acabamos de exponer, se desprende que el gran progreso aportado por Daguerre ha consistido en obtener una capa sensible de impresión relativamente rápida y en inventar el revelador y el fijador. Los defectos del procedimiento de NIEPCE quedaban así muy reducidos: El tiempo de exposición ya no era de diez horas sino de veinte minutos y la imagen era más visible aunque todavía se ne-

cesitaba buscar una inclinación conveniente para que la luz se reflejara en los espacios cubiertos de mercurio.

Otros perfeccionamientos siguieron: CHEVALIER (1) perfeccionó el objetivo empleando dos lentes en lugar de una, acortando así la distancia focal y aumentando la luminosidad con la consiguiente reducción de tiempo de exposición a 4 ó 5 minutos. CLAUDET (1841) descubrió substancias aceleradoras de la sensibilidad del ioduro de plata y redujo así la exposición a un medio segundo, lo que permitió al fin obtener retratos de daguerreotipía sin obligar a la persona a mantenerse en una molesta inmovilidad durante largos minutos. FIZEAU imaginó fijar la placa con una solución de hiposulfito de sosa y de cloruro de oro, y llegó a obtener así impresiones más visibles, más duraderas y más resistentes.

Daguerre murió en 1851, época en que ya había sido proclamada la sentencia de muerte de su fotografía metálica debido a los nuevos inventos de TALBOT, con quien continuaremos la historia de la fotografía.

JACOBI
(¿1790?-1874)

Galvanoplastía. Intervención en el invento del acumulador. Motor eléctrico. Medidas electromagnéticas.

MORITZ HERMANN JACOBI nació en 1790, según algunos autores, 1801, según otros, en Potsdam y murió en San Petersburgo en 1874.

A pesar de su buena instrucción general, Jacobi llegó a los 28 años sin haber logrado crearse una posición en su patria, motivo por el cual fué a Rusia en busca de ocupación. Ciertos conocimientos de electricidad le permitieron conseguir, en 1830, la dirección de la instalación de un te-

(1) CARLOS LUIS CHEVALIER (n. y m. en París 1804-1859).

légrafo electromagnético que unía el Palacio de Invierno de San Petersburgo con el palacio del Emperador y con la residencia de un ministro.

Jacobi se dedicó entonces exclusivamente al estudio de la electricidad y se hizo conocer por el invento de la galvanoplastía (1) y por su intervención en el invento del motor eléctrico.

Ya DANIELL y DE LA RIVE habían observado, independientemente uno de otro, que el depósito de cobre que se forma en el cilindro interior de la pila de Daniell reproduce las menores irregularidades de su superficie. Jacobi volvió a hacer la misma observación en 1837, encontrándose en la ciudad de Dorpat, y en la forma siguiente: Grabó el cilindro central de una pila con un estilete y, después de hacer funcionar la pila durante algún tiempo, separó del cilindro una chapa de cobre en que el grabado se observaba en relieve. El emperador Nicolás se interesó en el descubrimiento del físico alemán y le hizo dar toda la ayuda material necesaria para la continuación de sus investigaciones. En 1839, Jacobi, que operaba ya con un baño de sulfato de cobre separado de la pila, en el cual sumergía los polos, descubrió que si se coloca una placa de cobre en el polo positivo, ésta restituye al baño de sulfato de cobre, el cobre que se deposita en el polo negativo. En el mismo año, descubrió que no era necesario que el cuerpo colocado en el polo negativo sea de cobre, pues puede ser de cualquiera otra substancia buena conductora o simplemente estar cubierta con una capa de un cuerpo conductor: plombagina, por ejemplo.

Jacobi puede ser considerado como el único inventor de la galvanoplastía y no parece justo unir a su nombre el de SPENCER, quien no fué más que un inteligente aplicador del invento.

---

(1) Véase la historia de la galvanoplastía en "Merveilles de la science" de Figuier, t. II, p. 285-384; CHWOLSON, t. X, p. 214; GANOT, p. 821.

Otro mérito de Jacobi es el hecho de haber destacado la importancia, ignorada por su mismo inventor, del voltámetro de láminas de plomo de SINSTEDEN (1854), y de haber puesto así a PLANTE en el camino de su invento del acumulador.

Veamos ahora la intervención de Jacobi en el invento del motor eléctrico. En 1834, había presentado a la Academia de Ciencias de San Petersburgo una "Memoria acerca de la aplicación del electromagnetismo al movimiento de las máquinas" en que desarrollaba uno de los primeros proyectos de motor eléctrico, aunque no el primero, pues el eclesiástico italiano DAL NEGRO (1) lo había precedido en dos años con una idea parecida y PIXII ya había construído a la sazón un verdadero motor (2).

En 1839, año decididamente feliz para Jacobi, este sabio hizo marchar sobre el río Neva una pequeña embarcación con rueda de paletas, accionada por un motor eléctrico cuya fuerza era aproximadamente de tres cuartos de caballo y, en el cual, electroimanes móviles giraban entre polos fijos y alternados.

Jacobi también realizó estudios teóricos de electromagnetismo y, de 1838 a 1844, en colaboración con LENZ, hizo numerosas determinaciones de la intensidad de los electroimanes y de sus variaciones debidas a la influencia de varios factores como las dimensiones del núcleo de hierro dulce, del hilo conductor, etc. Se empeñó especialmente en fijar unidades universales electromagnéticas. Propuso (1847) como unidad de intensidad de corriente la corriente necesaria para producir un centímetro cúbico de gas explosivo en la unidad de tiempo, y hemos visto ya que BECQUEREL también se ocupó de este estudio. Ya anteriormente, Jacobi había construído uno de los primeros reós-

(1) SALVADOR DAL NEGRO, físico italiano (Venecia 1768-Padua 1839), dió una teoría química de la pila en la misma época que WOLLASTON, GAUTHEROT y PARROT.

(2) Véase la historia del motor eléctrico en Figuier, obra citada, t. II, p. 385-405.

tatos, consistente en una base de madera alrededor de la cual colocaba un hilo en espiral y un contacto móvil. Este aparato dió origen al reóstato de WHEATSTONE (1843) y es aún el modelo de los aparatos actuales. En 1846, propuso la adopción de una "resistencia normal" y, con tal fin, envió a muchos físicos un hilo de cobre de 7,61975 m. de largo y 0'000667 m. de diámetro; pero este problema fué estudiado y resuelto más eficazmente por WEBER (1852), quien buscó establecer medidas normales de intensidad, de fuerza electromotriz y de resistencia relacionadas con la medida magnética absoluta de GAUSS (véase), y por SIEMENS (1860).

No debe confundirse a Moritz Herman Jacobi con su hermano, el célebre matemático CARLOS GUSTAVO JACOBI (Potsdam 1804-Berlín 1851).

SAVART
(1791-1841)

Elasticidad de cristales. Torsión láminas y varillas. Derrame líquidos. Polariscopio de Savart. Ley de Biot-Savart.
Acústica: Resonancia. Violín trapezoidal. Ondas primarias y secundarias. Ondas estacionarias. Posición de nodos y vientres en tubos y placas. Interferencias. Propagación en los líquidos. Número de vibraciones y límites. Rueda de Savart.

FELIX SAVART nació en Mezieres en 1791 y murió en París en 1841.

GERARDO SAVART, su padre, era un ingeniero de talento que se había ocupado de física y hasta había dejado algunos inventos que el tiempo ha hecho olvidar.

Félix estudió medicina en el hospital militar de Metz del que fué ayudante y del que salió para ocupar un puesto de cirujano del ejército y doctorarse en medicina en la

Universidad de Estrasburgo (1816). Ejerció su carrera sólo unos pocos meses y la abandonó para dedicarse en París al estudio de las ciencias.

En 1819, presentó a BIOT una "Memoria acerca de los instrumentos de cuerda", que le mereció la franca aprobación de este sabio y que fué premiada por la Academia de Ciencias. Desde entonces, la acústica interesó casi exclusivamente al joven sabio, que vivió del producto de lecciones particulares hasta que, en 1827, con su ingreso a la Academia de Ciencias, se creó expresamente para él un puesto de "Conservador del Gabinete de Física" en el Colegio de Francia. En 1838, en fin, Savart reemplazó a AMPERE como catedrático de física en la misma institución.

Fuera de su obra de acústica que estudiamos a continuación, deben recordarse los célebres experimentos de Savart sobre la elasticidad de los cristales, la torsión de las láminas y las varillas rígidas, el derrame de los líquidos, el choque de las venas líquidas y la influencia del sonido sobre su forma, la constitución de los metales y el invento del polariscopio que lleva su nombre (1840) (1).

En otra parte (véase BIOT) hemos hablado además de la ley de BIOT y Savart establecida por estos dos sabios en su "Memoria sobre las acciones electrodinámicas" en 1820.

En 1819, Savart estudió especialmente la resonancia en la memoria acerca de los instrumentos de cuerda que acabamos de citar y llegó a la conclusión de que un violín perfecto debe tener una forma trapezoidal. Construído ese instrumento, el resultado alcanzado no fué muy brillante en cuanto a la resonancia y simplemente desastroso en cuanto a la estética del nuevo violín. Desde el punto de vista teórico, sin embargo, la memoria de Savart está llena de interesantes observaciones y descubrimientos tales como la importancia de la caja, del mango, del puente y de las eses del violín, la no influencia de la longitud de la tabla de resonancia, la

(1) CHWOLSON, t. IV, p. 260, t. V, p. 163.

causa de la formación de las vibraciones transversales, longitudinales y giratorias, etc.

Estudió las vibraciones longitudinales de las varillas y demostró que éstas pueden alargarse como si estuvieran sometidas a una tracción de millares de kilogramos.

Observó en la resonancia de las cuerdas y de las varillas las ondas primarias (paralelas a la propagación del sonido) y las ondas secundarias (perpendiculares a las primarias) que ya habían sido observadas por EULER, y observó el fenómeno de las ondas estacionarias en el aire. Para este estudio determinaba primero la posición de los nodos y de los vientres por simple audición, encontrando que el sonido es más intenso en los nodos que en los vientres; pero empleó después, como lo hacía A. SEEBECK, una membrana cubierta con arena y suspendida por un hilo. Con este dispositivo pudo determinar la posición de los nodos y los vientres en el aire del interior de un tubo de órgano, como lo había hecho HOPKINS, quien, con un dispositivo original inspirado en el de Savart, descubrió que los nodos no deben colocarse en la extremidad de los tubos como acostumbraban a hacerlo los acústicos anteriores, pues determinó que en los tubos cerrados el primer nodo se encuentra a una distancia del extremo abierto mayor de una cuarta parte de la longitud de onda y que, en un tubo abierto, se encuentra a algo menos de esa distancia de la parte superior del tubo. Observó también que la naturaleza del material del tubo tiene una influencia sobre el tono del sonido y que la pared blanda produce sonidos más graves (1828).

Savart determinó la posición de los nodos y vientres en las placas vibrantes y observó que las líneas de nodos de un lado de la placa alternan con las líneas de nodos del otro lado y que el número de estas líneas aumenta con el espesor de la placa.

Las interferencias de los sonidos, ya conocidas por YOUNG, por los hermanos WEBER, DESPRETZ y KANE, fueron definitivamente puestas en evidencia en los experimentos de HOPKINS (1838) Savart, en colaboración con un hermano, observó las interferencias del sonido produ-

cidas por las ondas directas con las ondas reflejadas por una pared (1).

Savart estudió la propagación del sonido en los líquidos, propagación en cuya posibilidad ya creían KLEIN, BAKER, HAWKSBEE, MUSSCHENBROEK, NOLLET y FRANKLIN, a pesar de no haber sido definitivamente demostrada. Savart llegó a esta demostración en 1826; colocaba en la superficie de una agua tranquila, discos cubiertos de arena, y producía en el fondo del agua un sonido que le hacía observar inmediatamente las vibraciones en los discos. En la misma época, POISSON comprendía el estudio de la propagación del sonido en los líquidos en el estudio teórico general del punto; y al año siguiente, el problema de la propagación del sonido en el agua recibía una brillante demostración y una determinación de su velocidad, por COLLADON y STURM.

La medida del número de vibraciones de los sonidos y la determinación de sus límites de perceptibilidad, fué también un tema muy bien estudiado por Savart. Antes que él, muchos físicos ya se habían detenido en esta cuestión y entre ellos se habían destacado: STANCARI, quien en 1706 ya había imaginado un dispositivo con rueda dentada idéntico en principio al aparato de Savart; SAUVEUR; SARTI; EULER; CHLADNI, (véase) quien determinó los límites en 32 y 1.700 vibraciones; CAGNIARD DE LA TOUR, (véase) quien utilizó la sirena de su invento que fué perfeccionada más tarde por CAVAILLE-COLL (2) y por SEEBECK; WOLLASTON, quien en 1829 llegó casi a los mismos resultados que CHLADNI.

Savart sostuvo que no existían límites absolutos de perceptibilidad de los sonidos y que estos varían según la naturaleza del sonido.

Para los sonidos altos empleó la conocida "rueda de Savart" (3) que no es sino una rueda dentada cuyos dientes

(1) GANOT. p. 387.

(2) CAVAILLE-COLL, familia francesa de constructores de órganos, célebres desde el siglo XVIII. Sobresalió particularmente ARISTIDES CAVAILLE-COLL (Montpellier 1811-1899).

(3) CHWOLSON, t. III, p. 168.

hacen vibrar, al girar la rueda, un trozo de cartulina que se apoya contra ellos. Alcanzó con este aparato a percibir sonidos de unas 48.000 vibraciones simples por segundo. Para los sonidos graves, cuyo límite de perceptibilidad evaluaba en 8 vibraciones, hacía girar una varilla de hierro o de madera cuyas extremidades pasaban alternativamente y sin rozar, delante de una rendija practicada en una tabla. Cuando la varilla pasó 8 veces por segundo delante de la rendija, Savart empezó a percibir un sonido grave, y fijó en 8 el límite inferior de perceptibilidad; pero DESPRETZ demostró que, en ese experimento, el sonido percibido por Savart era uno de los sonidos superiores que acompañan siempre a los sonidos musicales. Después de Savart, HELMHOLTZ y, a fines del siglo XIX, ABRAHAM, LORD RAYLEIGH (1), WIEN y otros, estudiaron más ampliamente los límites de perceptibilidad de los sonidos.

Savart ha provocado un importante progreso a la acústica, y sus estudios exclusivamente experimentales tienen para esa ciencia una importancia comparable a la de los estu-

---

(3) JUAN GUILLERMO STRUTT, barón de RAYLEIGH (1842-1919), físico y químico inglés, estudió y enseñó en Cambridge, luego fué nombrado catedrático del Instituto Real de Londres. Se ocupó de varias ramas de la Física. CHWOLSON lo cita principalmente por su determinación de la densidad de los gases (t. II, p. 20), su estudio de las llamas cantantes (1879) (t. III, p. 38), de la variación de la intensidad del sonido con la distancia (1899) (t. III, p. 53), de la presión ejercida por las vibraciones sonoras (1882-1902) (t. III, p. 54), de la ley de Boyle-Mariotte (1901) (t. II, p. 39), de la difusión (1900) (t. II, p. 140), de la solubilidad de los gases, de la tensión de los vapores saturantes (t. VIII, p. 20), etc.

En esta obra el nombre de Rayleigh ha sido citado a raíz de su colaboración en el estudio de varias de estas cuestiones y especialmente por su colaboración con RAMSAY en el descubrimiento del argón, que le valio el premio Nobel en 1904. Fué con RAMSAY también que Rayleigh descubrió, en 1895, en la atmósfera el helio, que el astrofísico LOCKYER (1869) había descubierto por análisis espectral como un elemento nuevo en el sol.

En 1882, Rayleigh imaginó el pequeño disco que lleva su nombre y que colocaba en posición perpendicular a la dirección del sonido para determinar su intensidad. Hizo una ingeniosa modificación del elemento normal inventado por CLARK en 1878. Se recuerda también, en 1899, su estudio del "efecto TYNDALL" (1871) consistente en el cono luminoso que se observa en el líquido puro cuando se proyecta en él, por medio de una lente, la imagen real de un foco luminoso.

dios teóricos y experimentales de sus contemporáneos, los hermanos WEBER, quienes en muchos puntos, ampliaron y dieron mayor precisión a las observaciones y a los resultados obtenidos por Savart.

MOSSOTTI
(1791-1863)

Teoría de dieléctricos. Causas de la gravitación. Capilaridad.

OCTAVIO MOSSOTTI matemático, físico y astrónomo, nació en Novara en 1791 y murió en Pisa en 1863.

Realizó sus principales estudios de electricidad, óptica y astronomía en Milán, Turín y Pisa, donde enseñó física-matemática.

En electricidad, debe recordarse una teoría de los dieléctricos que estableció en 1847 y que tenía por fundamento la teoría de POISSON. Cuando esta última fué modificada por LORD KELVIN, la teoría de Mossotti necesitó forzosamente algunas alteraciones o correcciones, de las que se encargó HELMHOLTZ y que CLAUSIUS utilizó en investigaciones posteriores.

Mossotti es también autor de una explicación de la gravitación, una de las tantas hipótesis que se han emitido acerca de las causas de la gravitación y de las cuales ninguna ha logrado imponerse. Esa teoría de la gravitación de Mossotti pertenece al grupo de las explicaciones electro-magnéticas y pediremos su explicación a LORENTZ mismo, quien fué su continuador: "Mossotti se había representado la materia" dice LORENTZ (1) "como formada de electricidad positiva y negativa y había considerado la gravitación como una fuerza residua que proviene de una pequeña diferencia que exis-

(1) H. A. Lorentz, "La Gravitation", Scientia, 1914.

tiría entre las atracciones de las electricidades opuestas y las repulsiones de las electricidades del mismo nombre".

Son muchas las teorías que tratan de establecer las causas de la gravitación y, en su mayor parte, la atribuyen ya a ondulaciones etéreas, ya a una presión o a una percusión. KEPLERO consideró la gravitación como una "vis prensandi" que obra a través de todos los cuerpos.

NEWTON apesar de defenderse de haber jamás imaginado hipótesis, "Hypotheses non fingo", atribuía la gravitación a variaciones de la densidad del éter; parecida había sido la idea de DESCARTES, quien también atribuía la pesantez de los cuerpos a la presión de un flúido sutil.

LESAGE, el inventor del primer telégrafo eléctrico, había imaginado una hipótesis que se hizo célebre, según la cual el éter era atravesado por corrientes de corpúsculos infinitamente pequeños: esta hipótesis fué combatida por MAXWELL. E. DE BOUCHEPORN, en 1827, buscó la causa de la gravitación en los movimientos de los cuerpos celestes; HERAPATH, de 1821 a 1847, trató de encontrarla en los movimientos térmicos de los cuerpos. G. LAME en 1852 consideró también el éter como el único modo de acción de la gravitación; CHALLIS (1), en 1859, estableció una hipótesis ondulatoria de la gravitación, inspirada en un trabajo sobre ondulaciones y repulsiones y atracciones acústicas de GUYOT (2) (1834); KELLER (1863) y LEBOIS-BAUDRAN (1869) estudiaron con el mismo fin las ondulaciones del éter; W. THOMSON (1872) y TAIT (1877) volvieron a ocuparse de la hipótesis de LESAGE; ZOLLNER, en 1872, buscó la explicación de las leyes de electricidad de WEBER, identificando la gravitación y la electridad... (3) En fin las teorías se sucedieron sin que se haya adelantado en ese terreno; pero lo más interesante de las teorias modernas, y entre ellas la teoría de EINSTEIN, es que

(1) CHALLIS (Braintriel 1803-Cambridge 1882), astrónomo y físico inglés, sucesor de AIRY en su cátedra de Cambridge.

(2) ARNOLDO GUYOT (Neufchatel 1807-Princeton, New Jersey, 1884), físico y geógrafo suizo.

(3) Bordeaux, "Histoire des sciences au XIXe. siècle", pág. 29, 41-44; y Poincaré, "Física Moderna", pág. 185 a 189.

extienden a la gravitación el concepto de FARADAY de la imposibilidad de la "acción a distancia" y consideran que la gravitación debe ser el resultado de una acción que se propaga de partícula a partícula con una velocidad determinada. Pero ningún experimento ha podido demostrar la existencia de esta velocidad finita que LAPLACE consideraba por lo menos cincuenta millones de veces mayor que la de la luz, mientras que la teoría de EINSTEIN considera a la velocidad de la luz como el máximum de velocidad en la naturaleza.

Mossotti estudió también con profundidad los fenómenos capilares y llegó a la convicción de la existencia de una tensión superficial elástica, admitiendo la creencia de POISSON y de YOUNG del aumento de la densidad de los líquidos en su superficie.

FARADAY (1)
(1791-1867)

Experimentos de acción de corriente sobre imán y vice-versa. Liquefacción de gases. Vaporización. Perfeccionamiento vidrio. Ilusiones ópticas. Superficies vibrantes. Inducción. Líneas de fuerza. Magnetismo de rotación de Arago. Electrómetro voltaico. Electrólisis. Crítica teoría del contacto. Self-inducción. Frotamiento. Conductibilidad. Espacio oscuro. Cilindro de Faraday. Teorema de Faraday. Jaula de Faraday. Dieléctricos en condensadores. "Acción a distancia". Similitud de las fuerzas. Electricidad por el vapor. Rotación magnética del plano de polarización. Diamagnetismo. Detención del movimiento en campo magnético. Cristales en campo magnético. Punto crítico. Magnetismo de llamas. Magnetismo atmosférico. Propagación fenómenos eléctricos. Acción magnética sobre el espectro.

MIGUEL FARADAY nació en Newing Butts, cerca de Londres, en 1791 y murió en 1867 en Hampton Court, otra de las pequeñas poblaciones cercanas a la capital inglesa.

Hijo de un herrero, el joven Faraday entró a los trece años como aprendiz en un taller de encuadernación en Londres. Nadie hubiera sospechado que este humilde obrerito llegaría un día a ser un gran sabio; lo único que podría haberse dicho de ese niño, si alguien se hubiere preocupado de observarlo, es que, a pesar de su rudimentaria instrucción, era muy amante a la lectura, y que fué su amor a los libros lo que le hizo elegir el oficio de encuadernador. Todas sus horas de descanso las dedicaba a la lectura de los

(1) "Faraday Inventor", por Tyndall (1868); "Les Grands hommes" de Ostwald; "Notices biographiques" de Arago; "Elogio de Faraday" por Dumas.

volúmenes que encuadernaba durante las horas de trabajo; los había de toda clase, buenos y malos, científicos y literarios, y de ellos el joven debió indudablemente sacar conocimientos bastante desordenados. Al azar de esas lecturas sin método, la casualidad quiso que se encontraran dos libros que cautivaron toda la atención de Faraday; eran las "Conversaciones sobre Química" de la señora de MARCET y la "Enciclopedia Británica".



FARADAY

"Tenía yo la imaginación viva" decía Faraday cuando, en plena gloria, recordaba su obscura infancia "tan dispuesta a creer en los cuentos de las mil y una noches como en la Enciclopedia. Pero los hechos tenían sobre todo importancia para mí, y ellos me han salvado".

Es que aquel aprendiz encuadernador era un experimentador por instinto; repetía con aparatos tan ingeniosos como sencillos y ecónomicos, los experimentos relatados en el pequeño tratado de química o en la Enciclopedia y, sólo después de haberlos comprobado, creía en ellos.

Había pasado ocho años así, encuadernando y leyendo libros, cuando un miembro de la Institución Real de Londres lo llevó a una conferencia de DAVY; y el joven, entusiasmado por las claras enseñanzas de este famoso profesor, siguió sus cursos con asiduidad y resolvió abandonar su oficio para dedicarse a las ciencias. Tomada esta decisión, Faraday hizo su plan; se dirigió a DAVY y solicitó su ayuda, acompañando su carta de súplica con un resumen claro y fiel de todas las clases a las cuales había asistido. DAVY accedió al pedido e hizo nombrar a Faraday, ayudante de su laboratorio de la Institución Real.

Este nombramiento se efectuó en 1813 y sabemos que en ese año, DAVY emprendió un largo viaje en el continente, por favor especial de Napoleón, que le dió toda libertad de recorrer Francia e Italia a pesar del estado de guerra con Inglaterra. DAVY se hizo acompañar por Faraday, en calidad de secretario, físico ayudante y... doméstico. Esta última función Faraday se la impuso voluntariamente cuando DAVY se vió obligado a retardar su partida por no encontrar un lacayo que lo acompañara; pero pronto tuvo que arrepentirse de este gesto de amabilidad o de gratitud hacia su maestro, pues la señora de DAVY, excesivamente orgullosa del título de nobleza de su esposo, hizo pasar al joven sabio toda clase de humillaciones, y DAVY mismo, apartándose de su amabilidad de costumbre, le hizo sentir rudamente su superioridad no de orden científico sino de posición social.

DAVY no quería tampoco reconocer que su joven empleado ya no era un profano ni aún un principiante en ciencias, pues sus pocos meses de trabajo de laboratorio habían completado y equilibrado sus conocimientos dispersos, con una rapidez asombrosa; y tanto es así, que varios sabios que lo conocieron en el curso del viaje, le demostraron consideración y le ofrecieron su amistad, con gran descontento de DAVY.

Pocos meses después de su vuelta a Inglaterra, en 1816, Faraday publicó consideraciones acerca de la materia radiante y algunos análisis de química.

En 1821, Faraday se casó y fué "la fecha del acontecimiento que, como fuente de honor y de dicha, ha sobrepasado en mucho a todos los otros..." dice el ilustre sabio en sus memorias.

En ese mismo año, dió principio a sus primeros experimentos de electricidad (1) y escribió una "Historia del Electromagnetismo", sin abandonar por eso sus trabajos de química entre los cuales figuran, para ese año, un estudio de la aleación del acero y otro de la volatilización del mercurio a temperatura ordinaria.

En esos primeros experimentos de electricidad, Faraday empleó como fuente de corriente el "calorimotor de HARE" (1819) consistente en placas de zinc y placas de cobre unidas respectivamente por una varilla de zinc y cobre y sumergidas en una solución acidulada de sal común.

Faraday repitió todos los experimentos de AMPERE e imaginó hacer girar, ya un hilo conductor de corriente alrededor de un imán fijo, ya un imán móvil en el mercurio alrededor del hilo conductor fijo, experimentos que fueron recogidos a su vez por el gran sabio francés.

En 1823, Faraday licuó el cloro (2) y empezó un profundo estudio de la licuefacción de los gases, que amplió en 1844. Este estudio tiene importancia en física, no sólo por el fenómeno de la licuefacción sino también por haber sido una de las primeras observaciones de la inexactitud de la ley de BOYLE-MARIOTTE. En la historia del estudio de la licuefacción de los gases, deben citarse a VAN MARUM (1799), MONGE, FOURCROY, VAUQUELIN, GUYTON DE MORVEAU y NORTHMORE como predecesores de Faraday, y a DAVY, BUSSY (3), PERKINS, COLLADON (1828), MAUGHAM (1838) y NATTERER (1844) como sus contemporáneos.

---

(1) Véase su aparato para la rotación de los imanes en CHWOLSON, t. XI, p. 353.

(2) CHWOLSON, t. VII, p. 286.

(3) ANTONIO BUSSY (Marsella 1794-París 1882), médico, farmacéutico y célebre químico francés, fué profesor en las facultades de París y de Lyon.

En 1825 y 1826, Faraday se ocupó especialmente de química y descubrió la bencina al estudiar la compresión del gas de alumbrado; pero la física lo preocupaba también, pues estudiaba la vaporización y buscaba el perfeccionamiento de los vidrios empleados en la construcción de los aparatos de óptica y de astronomía. Llegó así a descubrir una nueva preparación de un vidrio pesado a base de borato de plomo y de silicio, perfeccionando una idea emitida por J. HERSCHEL; explicó este descubrimiento en 1829, en la "Lectura-Backeriana" y AMICI (1) aplicó su invento a la construcción de los microscopios.

En 1831, fueron las ilusiones ópticas y las superficies vibrantes en acústica que atrajeron su atención; pero 1831 fué sobre todo la fecha en que se inició la época gloriosa de la carrera de Faraday, quien se encontraba en el punto culminante de su fuerza intelectual: tenía cuarenta años de edad y veinte de práctica científica, y, según sus propias palabras, "un físico sólo se vuelve un hombre después de veinte años de trabajos; antes de este término sólo es un niño".

En 1831, Faraday dió principio a sus "Investigaciones de electricidad", formidable obra repartida en más de treinta series, y ya mencionó la inducción electro-magnética (2) y las líneas de fuerza magnética, al estudiar el "magnetismo de rotación" de ARAGO. (3)

Fué a fines de 1831 y en 1832 que debe considerarse que Faraday estableció la inducción, observando que, al cerrar y al abrir una corriente en un solenoide, otro solenoide en comunicación con un galvanómetro demostraba

---

(1) JUAN BAUTISTA AMICI (Módena 1786-Florencia 1863), astrónomo y óptico italiano, fué profesor de matemáticas en su ciudad natal y director del Observatorio de Florencia. Hizo importantes observaciones astronómicas, perfeccionó varios instrumentos como el polariscopio de NORRENBERG e inventó (1860) el "prisma de visión directa" de numerosas aplicaciones.

(2) Léase la memoria de Faraday del 24 de Nov. en Gay "Lectures Scientifiques", p. 467-476.

(3) CHWOLSON, t. XII. p. 108.

ser recorrido por una corriente inducida (1). COLLADON había realizado exactamente el mismo experimento en Ginebra y, convencido que el segundo solenoide debía estar recorrido por una corriente cuando hacía pasar la corriente voltaica en el primero, colocó el galvanómetro en otro cuarto como medida de precaución para evitar que fuese influenciado directamente por la corriente del primer solenoide. Inútil decir que, cuando COLLADON pasaba al cuarto del galvanómetro después de haber abierto o cerrado la corriente en la otra pieza, la aguja del galvanómetro ya había vuelto a su lugar; es así que este bien inspirado experimentador perdió una merecida gloria por simple casualidad o por exceso de precaución.

ARAGO hacía inducción sin saberlo, con sus experimentos de "magnetismo por rotación"; COLLADON realizaba el experimento de Faraday; AMPERE sabía que un cuerpo electrizado despierta electricidad en los conductores cercanos; la idea de inducción estaba pues "madura" pero la suerte quiso que el que la descubriera fuese uno de los experimentadores más perfectos de la época. En 1832, Faraday descubrió la inducción unipolar que WEBER estudiara detenidamente.

En 1831 y 32 Faraday hizo también interesantes investigaciones sobre placas vibrantes y movimiento ondulatorio.

En 1833, comprobó la identidad de la electricidad cualquiera sea su orígen; estudió la electrólisis (palabra nueva introducida por él como las de electrodos, ánodo, cátodo, iones, aniones y cationes); se sirvió de la electrólisis para medir la corriente voltaica con el voltámetro y estableció las leyes cuantitativas de la electrólisis:

"La cantidad de electrólito descompuesto es pro-
" porcional a la cantidad de electricidad que recorre
" el circuito y es independiente de las dimensiones de

(1) CHWOLSON, t. XII; GANOT, p. 687.

" los electrodos, de la intensidad de la corriente y de
" la concentración de la solución".

" Para romper una valencia de un electrólito cualquiera se necesita la misma cantidad de electricidad que para libertar un peso atómico de hidrógeno (96.600 culombios)".

HOPPE (1) hace el siguiente resumen de los ocho teoremas en que están expuestos los resultados de esas investigaciones de Faraday: "1º Un ion aislado que no está unido con otro alguno, no va hacia ningún electrodo. 2º Cuando un anión está unido a un catión en la proporción normal, se desplazan ambos, uno hacia el ánodo, el otro hacia el cátodo y siempre que un ion va hacia un electrodo, el otro ion debe ir al otro electrodo. 3º Entre cuerpos constituídos por dos iones, sólo puede existir un electrólito de acuerdo con la ley según la cual los iones elementales están a los electrodos en proporción de sus equivalentes electroquímicos y no de sus múltiplos. 4º Un cuerpo conductor no descomponible por sí mismo, no es descompuesto tampoco en una combinación pero puede obrar sólo como un ion e ir totalmente a un electrodo; sin embargo, puede ser decompuesto por una acción secundaria, puramente química. 5º La naturaleza de los electrodos — siempre que sean conductores — no provoca diferencia alguna en la acción química ni como naturaleza ni como grado; pero ejerce una gran influencia, por su acción secundaria, sobre el estado en el cual aparecen finalmente los iones. En consecuencia se puede, en ciertas condiciones, captar los iones al estado combinado cuando no puedan ser tratados al estado libre. 6º Una substancia que, en estado de electrodo, se combina completamente con los iones que se desarrollan sobre ella es ella misma un ion y, en este caso, se combina de acuerdo con la proporción determinada por su equivalente electroquímico. 7º Iones reunidos no lo son indispensablemente de acuerdo con los equivalentes electroquímicos de los iones simples. 8º Los equivalen-

(1) HOPPE, Hist. de la Phys., p. 499-500.

tes electroquímicos son siempre los mismos es decir que representan siempre el mismo número y son iguales a los equivalentes químicos ordinarios (ley de acción definida).

Todas estas leyes de Faraday, de importantes consecuencias (1), fueron el coronamiento de los provechosos esfuerzos de RITTER, DAVY (véase), BERZELIUS, POGGENDORFF, PFAFF, PARROT, AUGUSTO DE LA RIVE y A. C. BECQUEREL.

En 1833 también, Faraday construyó el "electrómetro voltaico" que consistía en un recipiente de vidrio lleno de ácido sulfúrico diluído (D = 1.34) con una tapa provista de los dos electrodos y de un tubo de salida del gas explosivo producido, cuyo volumen indicaba la intensidad de la corriente como lo propusiera más tarde JACOBI (1847) (véase).

En 1834, y otra vez en 1840, Faraday se ocupó de la teoría de la pila y atacó la teoría del contacto, que consideraba como una "creación de fuerza de la nada". Hemos visto (véase VOLTA) que la intervención de Faraday dió la victoria a la teoría química de la pila, victoria prematura ya que en nuestros días, o sea casi un siglo después, este problema permanece aún sin solución. Sin embargo, Faraday no enunció ninguna teoría personal; se adhirió a la teoría de DAVY, pero, más tarde, volvió a admitir la teoría del contacto.

De 1834 también, data su descubrimiento de la "extra corriente" o "self-inducción" al cual llegó gracias a una observación de GUILLERMO JENKIN de que la chispa producida en el extremo de un hilo conductor es mayor cuando este hilo se arrolla en espiral y cuanto mayor sea su longitud, a pesar del aumento de resistencia así provocado.

En 1835, llegó el cansancio; los cuatro últimos años de intenso y tan eficaz esfuerzo parecían haber agotado el privilegiado cerebro de Faraday, y, en ese año y el siguiente, toda su labor se limitó a una memoria sobre una nueva pila voltaica. Pero el entusiasta sabio quiso reaccionar, y, en

(1) CHWOLSON, t. X, p. 198; GANOT, p. 616.

1837, estudió la electricidad de frotamiento, la conductibilidad eléctrica y la inducción, observó el "espacio obscuro de Faraday", imaginó el célebre "cilindro de Faraday" (1) y estableció el "teorema de Faraday" (2) según el cual: "Un cuerpo electrizado colocado en el cilindro hace desarrollar en la superficie interna de éste, una cantidad equivalente de electricidad contraria, y en su superficie externa otra cantidad equivalente y del mismo nombre." Colocando su cilindro dentro de otro o empleando esferas huecas concéntricas y llenando los espacios intermedios con distintos cuerpos eléctricos o dieléctricos gaseosos, sólidos o líquidos, realizó un profundo estudio experimental de la inducción y de la conducción a la vez, y demostró así mismo que un conductor aislado y electrizado no tiene influencia sobre un cuerpo colocado en su interior (jaula de Faraday, pantalla eléctrica, etc.) (3) como ya lo había demostrado GREEN teóricamente.

En 1838, siempre reaccionando contra el cansancio, Faraday estudió la acción de los dieléctricos en los condensadores (4) ya tratados por WILKE (1759) y también por CAVENDISH (1770) en sus notas inéditas, y trató de descubrir algún cambio óptico en los dieléctricos electrizados, sin llegar al descubrimiento que hiciera célebre a KERR (5) en 1875.

---

(1) GANOT, p. 773.
(2) GANOT, p. 740.
(3) GANOT, p. 745.
(4) CHWOLSON, t. IX, p. 109.
(5) EL DOCTOR JUAN KERR, profesor de física en Glasgow, nació en 1845 y murió en 1907. En 1875, descubrió el fenómeno que lleva su nombre: Un aislador sólido o líquido se vuelve birrefringente (después de algún tiempo el primero e inmediatamente el segundo) cuando se electrizan.

Este "fenómeno de Kerr", durante algún tiempo negado pero luego debidamente comprobado, recibió el nombre de "doble refracción accidental" y ha sido demostrado como propiedad general de los aisladores por GIURGEA en 1812 (véase GANOT, p. 776). En 1876, descubrió el "efecto de Kerr": La luz polarizada linealmente sufre una rotación del plano de polarización cuando se refleja en un espejo formado por un poloimán. FITZGERALD edificó una teoría de ese "efecto" enmendada por KUNDT, VOIGT y RIGHI.

En 1840, como acabamos de decirlo, Faraday reanudó sus estudios sobre la teoría del contacto; pero su ardua lucha contra el cansancio no podía ser de larga duración y, en 1841, debió declararse vencido. Se retiró a Suiza donde abandonó por completo los estudios y gozó de un reparador descanso en la calma de las montañas.

En 1843, Faraday pudo volver a sus actividades, y al reanudar sus investigaciones, volvió a dirigir todos sus esfuerzos hacia el objeto de sus estudios anteriores o sea: demostrar por el estudio de los fenómenos eléctricos la imposibilidad de la "acción a distancia" y la similitud de todas las fuerzas de la naturaleza.

Fué en 1843 que Faraday explicó que la fuente de electricidad en la máquina eléctrica de vapor de ARMSTRONG (1840) es el frotamiento de las gotitas de agua en suspenso en el vapor contra el colector, y demostró que una corriente de aire húmedo que pasa sobre resina la electriza, relacionando el hecho con las observaciones de GORDON (1744), de SAUSSURE (1781) y de LICHTENBERG (1788) sobre electricidad en las caídas y chorros de agua.

En 1845, Faraday realizó la rotación del plano de polarización de la luz por el magnetismo y describió estos experimentos en una "Memoria acerca de la magnetización de la luz y de la iluminación de las líneas de fuerza magnética". Era este el primer descubrimiento de la electro-óptica, la anticipación del descubrimiento de ZEEMANN.

Faraday realizó ese célebre descubrimiento de la rotación del plano de polarización en un campo magnético, colocando entre los dos polos de un potente electroimán una lámina de silicato de óxido de plomo (flint pesado) de 5,4 cm de largo y de 1.3 cm de espesor. Determinó la proporcionalidad entre la rotación y la densidad del campo magnético y el espesor de la lámina. AIRY y C. NEUMANN (véase) buscaron la explicación teórica de la observación y de la ley. VERDET (1863) agregó que la rotación magnética es más o menos inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda, y de esa relación BOUSSINESQ

dedujo una conocida ecuación. Faraday también mostró que se obtiene el máximum de rotación cuando el rayo es paralelo a las líneas de fuerza, a lo cual BERTIN agregó que, cuando el rayo no es paralelo, la rotación es igual a ese máximum multiplicado por el coseno del ángulo de inclinación. MAXWELL estableció fórmulas generales de la rotación con relación a puntos de distintos potenciales. Debe ser recordado que, ya en 1833, en su afán de establecer relaciones entre la luz y la electricidad, Faraday había realizado, sin éxito, experiencias tendientes a modificar la polarización de la luz haciendo pasar rayos polarizados en electrólitos con corriente y que tuvo precursores en ese estudio en MORICHINI (1813), CHRISTIE (1826), J. HERSCHEL (1822) (véase Herschel).

En el mismo año de 1845, Faraday presentó una "Memoria acerca de la condición magnética de toda clase de materia" en que anunciaba su descubrimiento del "diamagnetismo" y su generalización, sin saber que BRUGMANS (1778), A. C. BECQUEREL (1827), LE BAILLIF (1), SAIGEY y SEEBECK ya lo habían observado, aunque sin darle nombre y sólo en algunos cuerpos. Faraday imaginó los nombres de "diamagnetismo" y "paramagnetismo" y encontró más tarde el diamagnetismo en el cromato de potasio y otros cuerpos y aún en los gases.

Siempre en 1845 y en el curso de las investigaciones que acabamos de citar, Faraday observó que un cuerpo es detenido en su movimiento por un campo magnético constante: era el experimento inverso del de ARAGO y de GAMBEY. Este experimento de Faraday fué repetido, sin conocerlo, por TYNDALL en 1849; JOULE observó que la energía del movimiento detenido por el campo magnético se transforma en calor, y FOUCAULT amplió extraordinariamente el experimento.

---

(1) ALEJANDRO C. M. LE BAILLIF (Saint Fargeau 1764-1831), físico francés, se ocupó del estudio del acromatismo de las lentes e inventó varios instrumentos de óptica. Creyó tener derecho para ser considerado como el descubridor del diamagnetismo.

En 1848, Faraday estudió la influencia del magnetismo sobre los cristales, influencia que había sido descubierta el año anterior por PLUCKER (1) y que había sido prevista teóricamente por POISSON, varios años antes. Faraday observó que los cristales adquieren una dirección (perpendicularidad del eje del cristal con el eje del imán), independiente de su magnetismo o diamagnetismo y creyó deberla atribuir a una fuerza nueva "la fuerza magneto-cristálica"; pero este fenómeno fué explicado por REICH, TYNDALL y EDMUNDO BECQUEREL, quienes lo comprendieron entre las nociones ya conocidas sin necesidad de recurrir a una nueva fuerza.

En el mismo año de 1848, Faraday estudió los trabajos de CAGNIARD DE LA TOUR sobre el punto crítico (2) (véase CAGNIARD), amplió las experiencias y llegó a la conclusión que todos los gases, aún los permanentes, pueden ser licuados.

Desde 1846 y hasta 1850, Faraday realizó investigaciones en diversas ocasiones, acerca del magnetismo de las llamas cuyo estudio fué establecido por BANCALARI (3), así como acerca del magnetismo de los gases y de la atmósfera. Para la comprobación de estos fenómenos, coloreaba las llamas con vapores de cloro o de amoníaco y, para estudiar los gases, los encerraba en pompas de jabón que sometía a la influencia magnética. Su estudio del "magnetismo atmosférico" lo llevó a deducir la necesidad de una influencia de la atmósfera sobre el núcleo magnético terres-

---

(1) JULIO PLUCKER (Erbelfeld 1801-Bonn 1868), matemático alemán, fué profesor en Bonn y en Halle. Estudió especialmente los fenómenos luminosos de la electricidad y son bien conocidos los "tubos de Plücker" para la observación de espectros de gases. Estudió el análisis espectral del que fué uno de los precursores. Construyó (1852) un aparato de inducción unipolar basado en la inducción unipolar descubierta por FARADAY y estudiada por WEBER.

(2) CHWOLSON, t. VIII, p. 122.

(3) MIGUEL ALBERTO BANCALARI (Chiavari 1805-?), religioso escolapio y físico italiano, fué catedrático en la Universidad de Génova. Se recuerdan sus obras: "Del calor atómico de los cuerpos" y "Magnetismo de los gases".

tre, y trató de explicar por ella las variaciones anuales, diurnas e irregulares de la aguja magnética.

Esta explicación fué recibida con entusiasmo por numerosos sabios, entre los cuales recordaremos especialmente a HUMBOLDT; pero fué abandonada cuando dichas variaciones fueron atribuídas a las manchas solares.

En 1851, Faraday escribió la 29ª serie de sus famosas "Investigaciones experimentales de electricidad" tan brillantemente iniciadas en 1831, y en esta serie reunió toda su teoría de las líneas de fuerza.

En 1857, se ocupó tan acertadamente de la propagación de los fenómenos eléctricos que por este aspecto solo de su obra merecería ser considerado como precursor de HERTZ; pero sabemos que merece ampliamente este título por su obra en conjunto, ya que MAXWELL dedujo de ella la teoría electro-magnética de la luz, sobre la cual HERTZ edificó su propia obra.

En 1862, Faraday estudió de nuevo la electro-óptica tratando de demostrar la acción del campo magnético sobre las rayas espectrales, y aquí fué precursor directo de ZEEMANN.

En 1864, Faraday se sintió definitivamente vencido, sus fuerzas lo abandonaban y "ya no era capaz de acordarse al fin de una línea de lo que decía al empezarla..."

La inmensa obra científica de Faraday no fué el resultado de profundos estudios matemáticos, pues su preparación en matemática era más bien deficiente, pero tampoco consiste en simples observaciones o descubrimientos provocados por prácticas de laboratorio; toda ella se debe a la unión de la extraordinaria exactitud de sus conceptos sobre la ciencia con su maravillosa habilidad de experimentador. Faraday fué filósofo y físico a la vez y sus grandes descubrimientos son la consecuencia de su firme convicción en algunos principios generales, sobre los cuales predominó siempre su instintiva repulsión por el concepto de "acción a distancia", concepto creado por NEWTON y que fué suma-

mente perjudicial para la ciencia (1). Esta repulsión por la "acción a distancia" le hizo concebir la idea de las líneas de fuerza y de allí toda la vasta obra que une el nombre de de Faraday a los de MAXWELL (2) y de HERTZ. Otra fuente de inspiración fué su convicción en la identidad de origen de todas las fuerzas naturales que se manifiestan, ya como calor, ya como electricidad, magnetismo o luz. Este principio, causa de todos los experimentos que realizó con el fin de establecer puntos de unión entre los fenómenos ópticos y las acciones eléctricas y magnéticas, acerca también su obra a las de MAXWELL y de HERTZ y la relaciona además con las de SADI CARNOT, de MAYER y de todos los fundadores de la termodinámica y de la energética.

El carácter de Faraday era tan admirable como su obra; a pesar de haberse elevado por su propia superioridad de la clase humilde de la sociedad hasta las más gloriosas cumbres, Faraday siempre se mantuvo bueno, modesto, desinteresado y profundamente religioso. Como prueba de su bondad basta leer las apreciaciones de los sabios que lo trataron para observar con qué amor los guiaba cuando solicitaban sus consejos o con qué tacto y qué humildad contestaba a sus ataques científicos. Su modestia queda comprobada por la energía con que rehusó la presidencia de la Sociedad Real de Londres y de la Institución Real y muchos otros honores que sus compatriotas le brindaron. Su amor a la ciencia y su desinterés lo indujeron a alejarse de todas las empresas comerciales e industriales que le ofrecían grandes ganancias para que se abocara al estudio de cuestiones prácticas y remuneradoras. Su fe religiosa en fin era inquebrantable y puede afirmarse que la vida de Faraday trascurrió entre su laboratorio, su hogar y un pequeño templo de una secta protestante de la que era jefe y predicador.

La mejor biografía de Faraday es sin duda la que escribió su amigo y colega TYNDALL, y de ella destacamos este interesante resumen de la obra del gran experimentador:

(1) CHWOLSON, t. I, p. 211.
(2) CHWOLSON, t. XII, p. 118.

"...Alrededor de su gran descubrimiento de la in-
" ducción magneto-eléctrica se agrupan otros trabajos
" muy importantes. Sus investigaciones acerca de la
" extra corriente, acerca de la polaridad y de las otras
" condiciones de los cuerpos diamagnéticos, acerca de
" las líneas de fuerza magnética, su carácter definido
" y su distribución, los fenómenos revulsivos del cam-
" po magnético, etc... forman todos, a pesar de su
" diversidad de títulos, parte de su excursión en el do-
" minio de la inducción magneto-eléctrica".

"El segundo grupo de sus investigaciones y des-
" cubrimientos abraza los fenómenos químicos de la
" corriente. Aquí el resultado dominante es la gran
" ley de la descomposición electroquímica en proporcio-
" nes definidas, alrededor de la cual se agrupan estu-
" dios variados acerca de la conducción electroquímica
" y de la electrólisis, ya con la máquina, ya con la pila.
" Pertenece también a este grupo su análisis de la teo-
" ría del contacto, sus vistas sobre el origen de la elec-
" tricidad voltaica y el desarrollo final de su teoría quí-
" mica de la pila.

"Su tercer gran descubrimiento es la magnetiza-
" ción de la luz, descubrimiento admirable y completa-
" mente aislado.

"El resultado sobresaliente de su cuarto grupo de
" investigaciones es el descubrimiento del diagmane-
" tismo, presentado en su memoria como condición
" magnética de toda materia, y alrededor del cual están
" agrupados sus experimentos acerca del magnetismo de
" las llamas y de los gases, acerca de la "acción mag-
" neto-cristálica", acerca del magnetismo atmosférico
" en sus relaciones con las variaciones anuales y diur-
" nas de la aguja magnética...

"Tales son los descubrimientos principales de Fa-
" raday sobre los cuales descansa su fama; pero aun
" sin ellas, le quedaría todavía bastante para asegurarle
" una reputación científica imponente y duradera, pues
" tendríamos siempre sus investigaciones acerca de la

" licuefacción de los gases, de la electricidad de frota-
" miento, de la electricidad del gimnoto, del origen
" de la fuerza en la máquina hidro-eléctrica, de las ro-
" taciones electro-magnéticas, de la congelación, sus
" investigaciones químicas con su descubrimiento de la
" bencina... Espero que se admitirá que Faraday ha
" sido el más grande filósofo experimentador que el
" mundo haya conocido..."

POUILLET
(1791-1868)

Pirheliómetro. Calorímetro. Pila termoeléctrica. Electroimán. Pirómetro de aire. Brújula de tangentes. Electricidad por vaporización. Ley de Boyle-Mariotte. Duración del choque. Electrólisis.

CLAUDIO POUILLET nació en Cusance, en el Doubs, en 1791 y murió en París en 1868.

Fué alumno de la Escuela Normal de la que llegó a ser maestro de conferencias después de haber sido repetidor. Fué profesor de Física en el Liceo Borbón, profesor de los hijos de Luis Felipe (1828), director del Conservatorio de Artes (1832), profesor de la Escuela Politécnica, miembro de la Academia de Ciencias (1837) y profesor en la Sorbona (1838).

En 1837, el Jura lo eligió diputado, y en el parlamento colaboró activamente con ARAGO en la resolución de las cuestiones de interés público relacionadas con la ciencia, como las instalaciones de los ferrocarriles, telégrafos, pararrayos, etc. Opuesto al Segundo Imperio, se retiró a la vida privada desde el advenimiento de ese régimen, después del golpe de estado de 1852.

Pouillet se ocupó de física y de meteorología. Fué el verdadero continuador de OHM en su estudio de la corrien-

te (1835) y, al estudiar a este último sabio, hemos visto hasta que punto pueden admitirse las afirmaciones de los autores franceses que atribuyen a Pouillet el mérito del descubrimiento de la "ley de Ohm" (véase OHM).

Estudió el problema del péndulo de oscilaciones cónicas (1814); hizo investigaciones sobre la electrización por vaporización (1827); comprobó la relativa inexactitud de la ley de BOYLE-MARIOTTE en varios gases (1837) (1); confirmó experimentalmente la ley de GAY-LUSSAC; observó que los cuerpos porosos aumentan de temperatura durante la absorción de líquidos; estudió la duración del choque (1845); colaboró al estudio de los fenómenos de electrólisis (1845); hizo un profundo estudio de los pararrayos (1854); inventó el pirheliómetro, una pila termoeléctrica; un calorímetro, un electroimán, un pirómetro de aire, la brújula de senos y la brújula de tangentes (1837).

Cometió el error de acompañar a BIOT en su porfiada defensa de la teoría de las emisiones (1815) contra FRESNEL y de oponerse a ARAGO cuando éste preconizó en la Cámara el empleo de la telegrafía electromagnética, para defender el telégrafo óptico (1842) (2).

Esta desordenada lista de algunos trabajos sobresalientes de Pouillet demuestra que este sabio fué ante todo un experimentador; fué además un gran vulgarizador y un profesor de talento.

El pirheliómetro de Pouillet es uno de los primeros aparatos que permitieron determinar con cierta precisión el poder calorífico de los rayos solares, fin de la actinometría, importante capítulo de la meteorología. La parte principal de este aparato consiste en un recipiente metálico cilíndrico que contiene agua y en cuyo interior se encuentra el depósito de un termómetro; para medir la cantidad de calor cedida por los rayos solares en un lugar determinado, se coloca el recipiente de modo que los rayos caigan perpendi-

---

(1) CHWOLSON, t. II, p. 32.

(2) Véase la interesante discusión entre Arago y Pouillet en la Cámara. (Oeuvres de François Arago, t. V, p. 467).

cularmente sobre su base y se observa la elevación de temperatura del agua contenida. Este método, que ya no se emplea actualmente, ha sido el origen de los estudios e inventos de TYNDALL, CROVA, JUAN HERSCHEL, VIOLLE, ANGSTROM y de otros de los fundadores de la actinometría (1).

El calorímetro de Pouillet, empleado para medir la capacidad calorífica del platino por el método de las mezclas, consiste en un recipiente de cobre montado sobre soportes de madera y encerrado en otro recipiente del mismo metal que lo aisla de toda influencia exterior. El recipiente interior contiene agua, un canasto metálico para recibir el cuerpo, dos termómetros y un agitador para mezclar el agua y enfriar el cuerpo lo más rápidamente posible.

La pila termoeléctrica de Pouillet consiste en varias láminas de cobre y barras de bismuto en forma de herraduras, cuyas uniones están sumergidas en vasos que contienen alternativamente agua caliente y hielo fundente.

En 1831, Pouillet construyó en la Sorbona un electroimán que, según sus propias palabras, "se compone de dos herraduras opuestas, envuelta cada una en mil metros de hilo de cobre de 2|3 de milímetro de espesor. La misma corriente atraviesa sucesivamente los dos mil metros de hilo, pero las hélices están formadas de tal modo que los polos de nombres contrarios se encuentran en presencia. Este electroimán lleva fácilmente más de mil kilogramos con una corriente de una fuerte pila de 24 pares".

El pirómetro de aire de Pouillet es un recipiente con aire que comunica con un tubo en el cual se introduce una pequeña cantidad de mercurio; cuando se coloca el aparato en el ambiente cuya temperatura se desea determinar, el aire se dilata, pero se agrega mercurio en el tubo hasta volver a hacerle ocupar su volumen inicial y se determina la temperatura en función de la presión que así ejerce el mercurio adicional. Este aparato, que Pouillet empleó para estudiar la dilatación de los gases y comprobar las leyes de BOYLE-

(1) GANOT, p. 891.

MARIOTTE y de GAY-LUSSAC, ha indudablemente inspirado a REGNAULT en la construcción del célebre aparato que empleó este sabio para el estudio de la ley de BOYLE-MARIOTTE.

La brújula de tangentes (1) es otro de los importantes aparatos inventados por Pouillet que se encuentra descrito en su obra "Elementos de Física". Con esa brújula, Pouillet introdujo, en 1837, el primer aparato capaz de comparar con exactitud la intensidad de dos corrientes, pues la ley de BIOT-SAVART (1820) (véase BIOT) demuestra que los multiplicadores de SCHWEIGGER (1820) y de POGGENDORFF (1821), aún perfeccionados por NOBILI, no pueden dar medidas absolutas. La brújula de tangentes de Pouillet fué estudiada teóricamente por WEBER (1840); fué sometida a los cálculos de BRAVAIS (1853), JACOBI (1858), MASCART (1882), KOHLRAUSCH (1882), y su dispositivo recibió diversos perfeccionamientos por NERVANDER (1843), HELMHOLTZ (1849), GAUGAIN (1853), RIECKE (1878), QUINCKE (1893).

Fuera de esos inventos de Pouillet, acabamos de señalar investigaciones que merecen un ligero comentario.

En 1827, Pouillet se interesó en la electricidad producida por vaporización. Es de notar que estudió esta cuestión trece años antes de la observación de ARMSTRONG (1840) y de su construcción de una máquina de electrización por el vapor, pero lo hizo después de la explicación de la electricidad atmosférica por el vapor de agua por FRANKLIN (1749), de las investigaciones de LAVOISIER y LAPLACE (1782) que constataron que al calentarse agua en un recipiente de metal el agua está electrizada negativamente y el vapor tiene carga positiva, y después de observaciones de VOLTA y de GARDINI (1792) realizadas precipitando agua sobre cuerpos calientes.

En 1843, se ocupó de la comprobación de la ley de BOYLE-MARIOTTE; su labor consistió principalmente en

(1) CHWOLSON, t. XI, p. 570 y 574; GANOT, p. 672.

confirmar y completar los resultados obtenidos por DESPRETZ (1827) demostrando que, hasta cien atmósferas, el oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno, el monóxido de carbono, tienen las mismas características que el aire atmosférico. Recordemos que, anteriormente a DESPRETZ, OERSTED (1826) se ocupó de la comprobación de la ley de BOYLE-MARIOTTE, y que más tarde REGNAULT (1847) realizó importantes experiencias con el mismo fin.

En 1847, Pouillet aportó una inspiración original al estudio del choque, que hemos seguido en tantos autores entre los cuales culminan GALILEO, DESCARTES, MARIOTTE, HUYGHENS, WALLIS y WREN, luego EULER, quien quiso comprender el estudio del choque en el más vasto de la elasticidad como lo hicieron POISSON y CAUCHY. Pouillet introdujo el importante factor de la duración del choque; y este estudio fué continuado por SCHNEEBELI (1871). En 1845 también, Pouillet agregó su nombre en la historia del estudio de la electrólisis a la larga lista formada principalmente por RITTER (1802), DAVY (1807), BERZELIUS (1812), DE LA RIVE (1825), FARADAY (1834), DANIELL (1840) y BECQUEREL (1844). Pouillet observó que, separando un recipiente con solución de cloruro de oro por medio de un diafragma, el oro solo se dirige al polo negativo, y atribuyó toda la atcividad al electrodo negativo.

MORSE
(1791-1872)

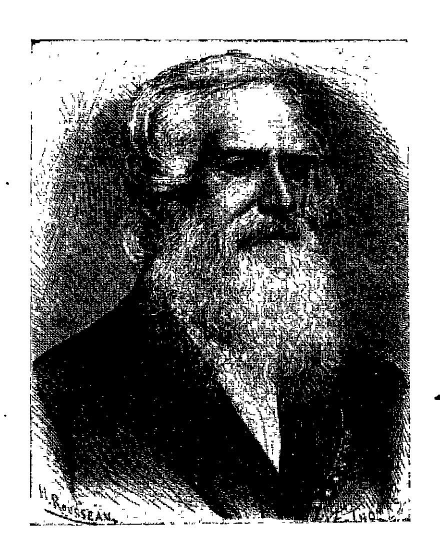
Telégrafo electromagnético.

El nombre de SAMUEL MORSE hace pensar inmediatamente en el gran invento que lo ha inmortalizado: el telégrafo electromagnético.

Desde que LESAGE (véase), en 1774, hubo proyectado el primer telégrafo eléctrico que registra la historia, hasta su verdadero perfeccionamiento realizado por Morse de

1832 a 1844, el telégrafo eléctrico preocupó constantemente a los sabios y cada descubrimiento en electricidad tenía de inmediato alguna aplicación en el telégrafo. Recordaremos algunos de estos perfeccionamientos antes de recordar la biografía de Morse:

En 1774, LESAGE inventó su telégrafo electrostático, pero abandonó su proyecto por falta de ambiente.



MORSE

En 1787, LHOMOND, en Francia, construyó un telégrafo de LESAGE algo perfeccionado, y BETANCOURT, en España, empleó la descarga de la botella de Leyden en vez de las máquinas de frotamiento.

En 1794, REISER, en Alemania, propuso reemplazar los péndulos del telégrafo LESAGE por cuadros mágicos de FRANKLIN que representaba, cada uno, una letra del alfabeto.

En 1796, SALVA, en Madrid, obtuvo cierto éxito con un telégrafo eléctrico.

En 1802, ALEXANDRE, en Poitiers, construyó un telégrafo de cuadrante en que empleaba la corriente de una

pila de VOLTA. Este aparato daba buenos resultados, pero no recibió la merecida ayuda de las autoridades; cayó en el olvido y su autor murió en la miseria.

En 1811, SOMMERING, de Munich, aplicó también la pila de VOLTA al telégrafo y reemplazó los péndulos por voltámetros.

En 1820, AMPERE aplicó el descubrimiento de OERSTED a la telegrafía, reemplazando los voltámetros de SOMMERING por agujas magnéticas; y SCHWEIGGER facilitó esta aplicación con su invento del galvanómetro multiplicador (1820).

En 1833, SCHILLING, en San Petersburgo, redujo el número de los galvanómetros a cinco, y GAUSS y WEBER instalaron un aparato parecido en Gotinga, para comunicarse de uan casa a otra.

En 1837, RITCHIE, ALEXANDER, en Edimburgo, y WHEATSTONE, en Inglaterra, perfeccionaron el telégrafo, y STEINHEIL, en Munich, sólo empleaba una aguja magnética y la proveía de un estilete inscriptor.

En 1838, el mismo STEINHEIL, por indicaciones de GAUSS, descubrió la inutilidad del hilo de vuelta que reemplazó por el hilo a tierra.

Es en este grado de adelanto que se encontraba el telégrafo cuando Morse llegó a solucionar casi definitivamente el problema.

SAMUEL FINLEY-BREESE MORSE nació en Charleston (Massachussets) en 1791 y murió en Wáshington en 1872.

Era hijo de un pastor protestante, geógrafo de cierto renombre, quien lo hizo estudiar en el Colegio de Yale, de donde salió el futuro inventor, en 1810, con la intención de dedicarse a la pintura.

Para perfeccionarse en ese arte, Morse fué a Londres en 1811 y conquistó rápidos triunfos en pintura y en escultura; pero cuestiones de familia lo obligaron a regresar a su patria en 1815, y permaneció en ella durante catorce años dedicado por completo a su carrera artística.

De 1829 a 1832, el artista visitó los principales museos europeos, y en el curso de este viaje nació en él el proyecto de su célebre invento. Esta idea no nació sin embargo espontáneamente en el espíritu de Morse. Nada, ni las mismas ideas, pueden surgir de la nada. Ya en Yale, Morse había tenido mucha afición por el estudio de la electricidad y más tarde, en Nueva York, había asistido con interés a varias conferencias relacionadas con los recientes y sensacionales descubrimientos de OERSTED, de AMPERE y de ARAGO. A bordo del barco que lo traía de regreso a su patria después de su viaje a Europa, Morse, incitado por algunas conversaciones entre pasajeros, se puso a pensar en la posibilidad de resolver el problema del telégrafo electromagnético. Según las afirmaciones del geólogo JACKSON, esta versión no sería exacta; en efecto, JACKSON, que viajaba en el mismo barco en que lo hacía Morse, acusó a éste de haber abusado de su confianza apropiándose de un proyecto de telégrafo electromagnético que habría tenido la imprudencia de confiarle en el curso del viaje. La acusación de JACKSON no fué admitida; pero como resulta casi imposible encontrar una solución justa y segura en este asunto, por falta absoluta de pruebas fehacientes, recordamos el nombre de JACKSON con la presunción de que, por lo menos, fué uno de aquellos pasajeros que provocaron en Morse su interés en el estudio del telégrafo.

Sea cual sea el origen de las investigaciones de Morse, lo cierto es que éste construyó su primer telégrafo en 1835 y lo perfeccionó considerablemente en 1837. Dos años más tarde, viendo que su invento no despertaba mayor interés en las altas esferas de su país, fué a Inglaterra donde se vió completamente paralizado en sus esfuerzos por una patente exclusiva sobre toda explotación de telégrafos eléctricos detentada por WHEATSTONE; pasó entonces a Francia donde consiguió patentar su invento, pero donde no tuvo mayor éxito que en su propio país en cuanto a la explotación del mismo; decidió entonces regresar a Norte América. En 1843, en fin, el Congreso de los Estados Unidos decretó la adopción del telégrafo de Morse por el Gobierno.

La primera línea reunió, al año siguiente, Wáshington con Baltimore y de allí se extendió y se ramificó hasta reunir con sus hilos a todas las ciudades americanas.

En Francia y en Inglaterra, el telégrafo Morse fué sustituyendo paulatinamente los sistemas nacionales de FOY-BREGUET y de WHEATSTONE respectivamente.

Morse fué ampliamente recompensado por su feliz invento, pues el Gobierno americano y varios países europeos le otorgaron honrosas distinciones y valiosos donativos. Su nombre se hizo inmediatamente célebre y, como siempre ocurre ante inventos de grandes consecuencias económicas, el mundo entero glorificó a Morse y le atribuyó todo el mérito de la jornada, olvidando o ignorando la obra superior y creadora de esta resultancia utilitaria, obra no de "inventor", sino de "sabios" como VOLTA, AMPERE, ARAGO, WEBER o GAUSS.

JUAN HERSCHEL
(1792-1871)

Polariscopio. Estudio del espectro. Explicación de la rotación del plano de polarización. Previsión de la rotación en el campo magnético. Interferencias del sonido. Absorción del espectro. Fluorescencia. Calorímetro.

JUAN HERSCHEL, cuya brillante carrera científica pareció ser la continuación de la magnífica obra de su padre, GUILLERMO HERSCHEL, (véase), nació en Slough, cerca de Windsor, en 1792 y murió en Londres en 1871. Fué matemático, astrónomo y físico y, con el fin de completar las observaciones astronómicas de su padre, residió en el Cabo de Buena Esperanza estudiando el hemisferio austral. En 1848, fué nombrado presidente de la Sociedad Real de Londres; en 1850, director de la Moneda, y, en 1855, miembro de la Academia de Ciencias de París, de la cual era corresponsal desde 1830.

En Física, se recuerdan especialmente dos de sus obras: el "Tratado del Sonido" (1830) y el "Tratado de la Teoría de la Luz" (1831), y muchos capítulos de la historia de la física señalan las huellas de su vasta labor en acústica, en calor, en óptica y en electricidad.

Ya en 1820, se señalan sus observaciones de la polarización de la luz con dos láminas de turmalina, constituyendo éstas el primer polariscopio, aparato que MULLER perfeccionó al construir su "pinza metálica de turmalina" (1835). Hemos visto ya que A. SEEBECK (1830), DOVE (1835), SAVART (1840) y BREWSTER (1841), imaginaron aparatos cada vez más perfectos para observar primero y luego medir con precisión la polarización.

En 1822, Herschel, siguiendo a FRAUNHOFER y a BREWSTER, realizó numerosas observaciones del espectro de distintas sales para distinguir en él rayas claras u oscuras características y, en 1829, amplió también las experiencias hechas por TALBOT con el estroncio (1826). Herschel figura, pues, como los otros físicos citados, entre los precursores del análisis espectral descubierto por KIRCHHOFF y BUNSEN, en 1859 (véase).

En el mismo año de 1822, Herschel trató de demostrar que la rotación del plano de polarización se debe a la asimetría molecular y, por un razonamiento inductivo relacionó este fenómeno con la desviación de la aguja magnética por la corriente, llegando a expresar su convicción de la existencia de una relación entre la luz y el electromagnetismo y más especialmente entre la corriente y la luz polarizada, hasta el punto de afirmar que "el plano de polarización de la luz debe ser desviado por el electromagnetismo". Esta afirmación razonada permite incluir a Herschel entre los precursores de FARADAY en el descubrimiento de la rotación del plano de polarización por el campo magnético, precursores entre los cuales figuran también MORICHINI (1813) y CHRISTIE (1826), que pretendían haber imantado cuerpos con rayos de luz como demostración de la relación existente entre la luz y el magnetismo.

En 1833, Herschel construyó un aparato para demostrar las interferencias del sonido estudiadas por los hermanos WEBER y especialmente por GUILLERMO WEBER. El aparato de Herschel consistía en un tubo de vidrio dividido longitudinalmente en dos ramas, siendo una de las ramas más larga que la otra de una media longitud de onda a fin de producir una interferencia completa. KOENIG adaptó el aparato a un manómetro de llama (1864) y, más tarde, adoptando un dispositivo de QUINCKE (1866) en que los dos tubos se separan, los hizo extensibles a fin de provocar distintas interferencias.

En 1840, Herschel observó que la absorción en la zona infrarroja del espectro no es uniforme y esta observación inició toda una serie de estudios. DRAPER (1843), J. MULLER (1858), TYNDALL (1866), LAMANSKY (1872), confirmaron la observación y señalaron verdaderas "lagunas" en el espectro. LANGLEY (1883), en célebres experiencias (véase LANGLEY) comparó el espectro de prisma con el espectro de retículo y señaló diferencias en la absorción, pero ni esas experiencias ni las de PASCHEN (1893), de WIEN (1893), de RUBENS (1895) permitieron dar la teoría explicativa del fenómeno.

Fué en 1845 que Herschel se ocupó de la fluorescencia. Este interesante fenómeno fué descubierto en 1550 por NICOLAS MONARDES (1); KIRCHER (1671), BOYLE y NEWTON trataron de explicar por qué razón soluciones de ciertas sustancias tienen otro color por transparencia que por reflexión, pero se limitaron a considerar que esas soluciones tienen la propiedad de rechazar ciertos colores y aceptar otros, concepto muy de acuerdo con la teoría de los "accesos" ("fits") de NEWTON; WUNSCH (1792), HAUY, BREWSTER (1838) volvieron a estudiar el mismo fenómeno, y BREWSTER, que lo estudió en el sulfato de quinina, lo llamó "reflexión interna". Herschel hizo un

(1) NICOLAS MONARDES (Sevilla 1512-1588), célebre médico, se ocupó de historia natural y estudió, en España, la flora del nuevo mundo. En la misma época vivía en Sevilla otro médico y naturalista, JUAN MONARDES, probablemente pariente del sabio que nos interesa.

estudio detenido de la fluorescencia y, como creyó que sólo se producía en la superficie de los cuerpos, le dió el nombre de "difusión epipólica" o sea "superficial" (1). Fué STOKES (véase) quien, en 1852, estudió ampliamente el fenómeno y, como inició sus experiencias con "espato fluor", lo llamó "fluorescencia". Estableció además un teorema que fué la base de numerosas investigaciones posteriores que culminaron con el descubrimiento de la radioactividad por BECQUEREL.

Entre las numerosas investigaciones, descubrimientos e inventos físicos de J. Herschel, recordemos aún un perfeccionamiento del calorímetro de hielo de LAVOISIER y LAPLACE, que realizó en 1847.

DESPRETZ
(1792-1863)

Comprobación teoría de Fourier. Calor de vaporización .Comprobación ley de Boyle-Mariotte. Conductibilidad calorífica en sólidos y líquidos. Dilatación del agua. Sobrefusión. Límites de perceptibilidad de los sonidos.

CARLOS DESPRETZ, célebre físico y químico belga, nació en Lessines (provincia de Hainaut) en 1792 y murió en París en 1863.

Muy joven aún, Despretz dejó Bélgica y se instaló en París donde estudió la física y la química; GAY-LUSSAC lo eligió como repetidor de su curso de química en la Escuela Politécnica; fué nombrado profesor del Liceo Enrique IV; en 1837, ocupó una cátedra en la Sorbona y, en 1841, reemplazó a SAVART en la Academia de Ciencias.

Casi toda la obra física de Despretz, obra esencialmente experimental, interesa al estudio del calor; la "Teoría del

(1) CHWOLSON, t. IV, p. 200.

Calor" de FOURIER lo atrajo principalmente y muchos de sus más conocidos experimentos tienden a comprobar los resultados analíticos de esta célebre obra.

Entre los primeros trabajos de Despretz debe recordarse su estudio de la vaporización en 1818, en el cual trató como muchos otros sabios de establecer una ley acerca del calor de vaporización; esta "ley de Despretz" enuncia que el calor de vaporización es inversamente proporcional a la densidad del vapor a la temperatura de ebullición (1), y recordamos que hemos seguido los antecedentes de esta cuestión en BLACK, WATT y RUMFORD.

En 1827, Despretz dió una demostración experimental de las irregularidades de la ley de BOYLE-MARIOTTE, cuestión en cuya historia ya hemos citado los nombres de JACOBO BERNOULLI, AMONTONS, LAMBERT, CULLEN, SULZER, MUSSCHENBROECK, ROBISON, OERSTED, SVENDSEN y FARADAY. El experimento de Despretz (2) consistía en colocar dentro de un piezómetro lleno de agua, una cubeta de mercurio en que se sumergían las extremidades de los tubos capilares de dos o más aparatos con forma de termómetros llenos de gases distintos; luego se ejercía una presión sobre el agua por medio del pistón del piezómetro y se observaba que esta presión comunicada al mercurio hace elevarse este líquido a alturas distintas en los tubos capilares, comprobándose así que los gases no se comprimen todos de la misma manera. Hemos dicho ya que POUILLET confirmó los resultados obtenidos por Despretz por medio de ese dispositivo.

Despretz estudió la conductibilidad calorífica en los sólidos y en los líquidos. Para los metales imaginó un experimento, que se ha hecho célebre, basado sobre el método de enfriamiento establecido por NEWTON para el pirómetro (3). Consiste en calentar una barra prismática del metal estudiado y en colocar de trecho en trecho el depósito de un termómetro en cada una de las pequeñas cavidades

(1) CHWOLSON, t. VII, p. 270; GANOT, p. 258.
(2) CHWOLSON t. II, p. 32.
(3) CHWOLSON, t. VI, p. 334; GANOT, p. 333.

que se han practicado en la barra y que se han llenado de mercurio. Con este simple experimento, Despretz descubrió la ley siguiente, que es otra confirmación de la teoría de FOURIER: "Si las distancias en que se toman las temperaturas crecen en progresión aritmética, los excesos de temperatura disminuyen en progresión geométrica". Recordamos que la conductibilidad calorífica en los sólidos fué estudiada por RICHMANN (1752), INGENHOUSZ (1789) y RUMFORD (1795).

Como resultado de sus investigaciones, Despretz dió la siguiente serie de conductibilidades relativas: oro, 1000; platino, 981; plata, 973; cobre, 898; hierro, 374,3; cinc, 368; estaño 303,9; plomo 179,6; mármol, 23,6; porcelana, 12,2; tierra refractaria, 11,4.

Despretz llegó también a determinar la conductibilidad de los líquidos (1), que era considerada como nula por RUMFORD. Para esto Despretz se valió de un tubo de madera lleno de agua; calentó el agua sólo en su superficie, por contacto con un recipiente metálico lleno de agua caliente, y observó así, con termómetros colocados a distintas alturas, que la conductibilidad de los líquidos obedece a las mismas leyes que los sólidos en su experimento de las barras metálicas aunque con coeficientes muy inferiores. Este método o "método de la columna" fué seguido por muchos experimentadores, pero fué abandonado para ser reemplazado por el "método de la lámina" que se debe a GUTHRIE (2).

En 1837 y en 1839, Despretz estudió el tan conocido problema de la dilatación del agua. Recordaremos que, hacia 1670, los Académicos del Cimento habían observado que el agua llega a su máximum de densidad a una temperatura superior a su punto de congelación; HOOKE y muchos

(1) CHWOLSON, t. VI, p. 358; GANOT, p. 334.

(2) FEDERICO GUTHRIE (Londres 1833-1886), físico y químico inglés. Su método de la lámina consiste sencillamente en colocar entre las bases de dos recipientes metálicos en forma de cono, una lámina del líquido estudiado y, colocándose la fuente de calor en uno de ellos, observar la conducción del calor al otro por medio de un manómetro de aire. (CHWOLSON, t. VI, p. 360).

otros físicos negaron esta afirmación; en 1805 en fin, HOPE y RUMFORD, separadamente aunque por experimentos casi idénticos, demostraron que cerca de los 4° C. el agua llega a su máximum de densidad; HALLSTROM, en 1825, hizo un amplio estudio de la cuestión y propuso su conocido método; y, en 1839, Despretz, por el método del dilatómetro de vástago (1), observó de nuevo el fenómeno y demostró que el agua no tiene ninguna "irregularidad de dilatación" sino que al tener su máximum de densidad a los 4° C., hace más visible un fenómeno general que se deduce de la ley de dilatación de los líquidos. PAALZOW (1868) hizo numerosas determinaciones por el método de Despretz.

Despretz renovó también el concepto que se había generalizado acerca de la sobrefusión (2). Este curioso fenómeno, descubierto por FAHRENHEIT, en 1724, y obtenido por GAY-LUSSAC con temperaturas de 12 grados bajo cero, fué estudiado por Despretz, que no sólo lo reprodujo a 20 grados bajo cero, sino que demostró además que podía ser obtenido con agua en movimiento y que era por consiguiente erróneo buscar su explicación en la absoluta quietud del líquido, que hasta aquella época había sido considerada como condición indispensable.

Además de su estudio del calor, Despretz ha dejado importantes y numerosas memorias de química, de acústica (3) y de electricidad, y obras de vulgarización y clásicas, entre las cuales se destaca su "Tratado Elemental de Física" publicado en 1836.

---

(1) Véase la descripción de este experimento y los métodos gráficos de Despretz en CHWOLSON, t. VI, p. 126-127 y GANOT, p. 218.

(2) CHWOLSON, t. VII, p. 200.

(3) Véase en la biografía de SAVART, la interpretación de Despretz de los experimentos de este sabio sobre límites de perceptibilidad de los sonidos.

GREEN
(1795-1841)

Desplazamiento del aire en el movimiento del péndulo. Teoría de la electricidad y del magnetismo: Teorema de Green. La "función potencial". Teoría de la luz.

JORGE GREEN, célebre matemático y físico inglés, nació en Nottingham en 1793 y murió en Sneinton en 1841.

De origen modestísimo, Green se elevó por su propio esfuerzo del oficio de panadero a la celebridad más envidiable, la que otorgan la inteligencia y el saber.

El nombre de Green debe ser colocado al lado de los de LAPLACE, FOURIER, GAUSS, AMPERE, MAXWELL, KELVIN y de todos aquellos sabios que supieron expresar y descubrir con el complicado lenguaje de las altas matemáticas, hechos nuevos relacionados con las ciencias experimentales.

Green tuvo como preocupación inicial la mecánica analítica y, entre los muchos problemas a cuya solución colaboró, se recuerda su estudio (1836) de la resistencia del aire al movimiento del péndulo y especialmente el desplazamiento del aire causado por dicho movimiento, cuestión que ya había preocupado a NEWTON, a L. G. DUBUAT (1786), a POISSON (1832) (véase), y a PLANA (1835).

Fueron los trabajos de POISSON los que atrajeron a Green al estudio de la electricidad, y, en 1828, publicó su "Ensayo sobre la aplicación de la Mecánica Analítica a las Teorías de la Electricidad y del Magnetismo". Esta valiosa obra no tuvo resonancia alguna y sólo fué conocida cuando KELVIN volvió a publicarla un cuarto de siglo más tarde (1850-54).

Green introdujo allí en el estudio de la electricidad la "función potencial"; pero fueron HAMILTON (1834) y sobre todo GAUSS (1839) quienes dieron todo su valor a esa adaptación.

Es en la misma obra que Green estableció el teorema que lleva su nombre (1) y que fué descubierto de nuevo, pero experimentalmente, por FARADAY. Este teorema demuestra que un cuerpo contenido en una cavidad limitada por un conductor electrizado no experimenta ningún fenómeno eléctrico. La "jaula de FARADAY" o el pararrayo de MELSENS (2) no son sino aplicaciones de este teorema, que además de su importancia en física, tiene el mérito de haber sido establecido por un nuevo método matemático.

En 1838, Green intervino en el estudio analítico de la teoría de la luz siguiendo la ruta abierta por FRESNEL y acompañando los esfuerzos de F. NEUMANN, de MAC CULLAGH y particularmente de CAUCHY sobre quien, a su vez, ejerció gran influencia, pues de sus trabajos deriva la tercera teoría de CAUCHY (véase FRESNEL) en que este sabio igualaba a cero la velocidad de las ondas longitudinales que había introducido, conjuntamente con las ondas transversales, en sus teorías anteriores. KELVIN (véase) se opondrá más tarde a los cálculos de Green en que se basa dicha consecuencia.

---

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 48 y 133.

(2) FEDERICO MELSENS (Lovaina 1814-Bruselas 1886), célebre químico belga, hizo sus estudios en Lovaina y fué alumno de DUMAS y recibió el premio Montyon, en París; siguió sus estudios de química y física en Bonn y volvió a Bélgica como profesor de física en la Escuela Veterinaria de Cureghem, cerca de Bruselas (1841). Melsens se ocupó de química, terapéutica, física, agricultura, fisiología y balística. En esta ciencia, estudió la influencia de la envoltura del aire comprimido que acompaña al proyectil. El célebre "pararrayo de Melsens" aplica el "teorema de Green", pues envuelve a todo el edificio en una especie de "jaula de FARADAY" y así lo protege de toda acción eléctrica. Este procedimiento es más práctico y más económico que el de FRANKLIN (GANOT, pág. 887).

BABINET
(1794-1872)

Optica: arco iris, doble refracción circular, teoría de Neumann, óptica de los cristales.
Magnetismo terrestre. Teoría del calor. Longitud de onda como medida normal. Influencia movimiento de la Tierra sobre la velocidad de la luz. Fórmula hipsométrica.
Polariscopio. Compensador. Goniómetro. Fotómetro. Higrómetro. Llave Babinet. Aviación.

JACOBO BABINET nació en Lusignán, en la provincia de Poitú, en 1794, y murió en París en 1872.

Estudió en el Liceo Napoleón del que pasó en 1812, a la Escuela Politécnica y luego a la Escuela de Aplicación de Metz, donde fué graduado oficial de artillería. En 1815, dejó la vida militar por la enseñanza con el fin de poder dedicarse más libremente al estudio de las ciencias. Después de pasar cinco años como profesor de matemáticas y de física en su provincia natal, en Fontenay-le-Comte y en Poitiers, volvió a París (1820) como profesor en el Colegio San Luis. En 1838, reemplazó a SAVART en el Colegio de Francia, y, en 1840, ocupó en la Academia de Ciencias el sitio que la muerte de DULONG dejaba vacío.

La obra de Babinet, aunque no trascendental, es extensa y seria y ha contribuído eficazmente al progreso de la ciencia y especialmente de la Física, de la Astronomía y de la Meteorología. La teoría y la práctica le interesaron por igual y, además de numerosas memorias presentadas a la Academia de Ciencias, ha dejado interesantes inventos.

Sus principales estudios teóricos de física versaron sobre: la óptica (arco iris, 1837; doble refracción circular, 1837; defensa de la teoría de NEUMANN de la propagación de la luz, 1867; absorción de los rayos extraordinario y ordinario de la doble refracción y sus relaciones con la mineralogía; caracteres ópticos de los minerales después de los estudios de BIOT, ARAGO y BREWSTER, en 1837);

el magnetismo (De la determinación del magnetismo terrestre, 1829), y la teoría del calor. Debe destacarse además su estudio del espectro (1829) en que propuso que se utilizara la longitud de onda como unidad de medida para determinaciones del espectro y que se empleara la observación del espectro para determinar la influencia del movimiento de la Tierra sobre la velocidad de la luz. Babinet fué pues en este punto precursor directo de MICHELSON en sus investigaciones con el interferómetro (1895).

Como inventos de Babinet se conocen: un polariscopio y el compensador que fué estudiado más ampliamente por JAMIN; uno de los mejores goniómetros; un fotómetro de polarización (1); un higrómetro de cabello; y la conocida llave especial para máquinas neumáticas, cuyo principio puede encontrarse ya en FILON DE BIZANCIO y que fué perfeccionada por GRASSMANN.

Babinet es autor de una conocida fórmula (2) para la medida de la altitud en función de las indicaciones barométricas, que es aplicable para alturas inferiores a 1000 metros:

$$Z = 16000 \left(\frac{H - H'}{H + H'}\right) \left[1 + \frac{2\,(t + t')}{1000}\right]$$

El nombre de Babinet no puede ser olvidado en fin en la historia de la aviación, pues este sabio tomó, desde 1862, la defensa del "más pesado que el aire" contra los globos, considerando a éstos como "un descubrimiento sublime y detestable" que distraía el espíritu de los sabios de la verdadera solución del problema de la conquista del aire. Inútil decir que, en 1862, cuando se buscaba con afán conseguir la dirigibilidad de los globos, la afirmación de Babinet a favor del vuelo mecánico, aunque no del todo original, fué considerada como una simple utopía.

---

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 256.

(2) GANOT, pág. 139; véase la fórmula de LAPLACE en la biografía correspondiente.

Babinet fué uno de los sabios de más boga de su tiempo, pues, ya en artículos de periódicos, ya en conferencias o en la cátedra, supo ser profundo y ameno a la vez, cualidad esencial de los que como él fueron grandes vulgarizadores de la ciencia.

LAME
(1795-1870)

Teoría Analítica del Calor.
Vibración de las membranas.
Teoría de la elasticidad.

El matemático GABRIEL LAME nació en Tours en 1795 y murió en París en 1870.

Ingeniero de minas egresado en 1817 de la Escuela Politécnica donde ocupó siempre los primeros puestos, Lamé se especializó en la construcción de ferrocarriles.

Después de su vuelta de Rusia, donde había sido enviado en misión científica con CLAPEYRON para la construcción de caminos y donde había profesado con ese mismo sabio en la Escuela de Ingenieros Civiles de San Petesburgo (1820-1831), Lamé se ocupó, siempre con su amigo CLAPEYRON, de la instalación del ferrocarril de París a San Germán (1837). Desde 1832 había sido nombrado profesor de física de la Escuela Politécnica; en 1843, reemplazó al matemático PUISSANT (1769-1843) en la Academia de Ciencias; en 1845, renunció a su cátedra en la Escuela Politécnica de la que siguió siendo examinador y, tres años más tarde, fué nombrado profesor de Cálculo de Probabilidades en la Sorbona.

Lamé se ocupó de física matemática y especialmente de la teoría analítica del calor y de la vibración de las membranas. En el estudio de la primera de estas cuestiones, explicó matemáticamente el célebre experimento de RUMFORD sobre producción del calor por frotamiento. Su teoría

de la vibración de las membranas (1), emitida en 1852 en sus "Lecciones sobre la Teoría Matemática de la Elasticidad", es una obra clásica en física matemática.

Debemos citar en fin su amplio "Curso de Física de la Escuela Politécnica" (1837) que es una obra maestra, y debemos recordar que en la nota sobre MOSSOTTI tuvimos ocasión de recordar que Lamé fué también autor de una de las tan numerosas teorías sobre las causas de la gravitación.

CARNOT (2)
(1796-1832)

El 2º principio de la Termodinámica. El "calórico" y el calor movimiento. El 1er. principio y el equivalente mecánico del calor.

SADI CARNOT, el principal fundador de la termodinámica, nació en París en 1796 y murió prematuramente en 1832.

Era el hijo mayor del célebre hombre de estado y sabio LAZARO CARNOT (3), quien se preocupó activa-

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 127.

(2) "L'Oeuvre Scientifique de Sadi Carnot", por E. ARIES (Payot París 1921).

(3) LAZARO CARNOT (Nolay, Borgoña, 1753-Magdeburgo 1823) figura sobresaliente de la Revolución Francesa, ampliamente estudiada en la Historia, ofrece al biógrafo una vida noble y honesta, llena de caballerosidad, de sentimientos democráticos y también de desilusiones y de sinsabores. El "Organizador de la Victoria", descendiente de una antigua familia, diputado de la Convención, miembro del Comité de Salud Pública, Juez de Luis XVI, soldado de Furnes y Wattignies, Miembro del Consejo de los Alsacianos, Director, Ministro bajo el Consulado, el que sostuvo a Bonaparte republicano, que se opuso a Napoleón triunfante y que le ofreció sus servicios cuando lo vió vencido y la patria en peligro, el defensor de Amberes, el Ministro del Imperio, el que Napoleón apreció demasiado tarde, el desterrado de la Restauración... fué además un sabio profundo.

Ex alumno de la Escuela Militar de Mezieres, oficial de Ingenieros, Carnot presentó, en 1783, una memoria sobre la dirección de los globos y, en el mismo año, escribió su obra maestra "Ensayo sobre las Máquinas en general" en que se encuentra el "teorema de Carnot" sobre la pérdida de fuerza viva en las máquinas, causada por los cambios bruscos de ve-

mente de su instrucción y de la formación de su carácter a pesar de la constante agitación de su vida pública.

Sadi Carnot estudió en la Escuela Politécnica y en la Escuela de Aplicación de Mezieres; siguió la carrera militar hasta llegar al grado de capitán y luego la dejó para dedicarse por completo a las ciencias. Su carrera científica fué desgraciadamente muy breve, pues murió a los treinta y seis años, víctima de una epidemia de cólera.



SADI CARNOT
a los 17 años, alumno de la Escuela Politécnica.)

No obstante su brevedad, la obra de Sadi Carnot fué inmensa y marca una de las fechas más memorables de la historia de las ciencias.

---

locidad. Deben citarse además entre sus principales obras, sus "Reflexiones sobre la Metafísica del Cálculo Infinitesimal". "Geometría de Posición", "Tratado de Defensa de las Plazas Fuertes", "Memoria sobre las Relaciones entre las Distancias respectivas de cinco Puntos cualesquiera del Espacio", etc.

Carnot era miembro de la Academia de Ciencias; el 18 Fructidor (1797), su nombre fué eliminado de las listas y reemplazado por el de Bonaparte; el 18 Brumario (1799) y la muerte de LEROY le devolvieron su asiento en el Instituto.

LORD KELVIN ha dicho: "En todo el dominio de las ciencias no hay nada más grande que la obra de Sadi Carnot", y PICARD (1) lo llama "el precursor prodigioso que, por sus visiones geniales, se adelantó considerablemente a su tiempo". Y es así; su obra, una de las obras más grandes de la historia de las ciencias, se adelantó a su tiempo, y por ello mismo pasó casi inadvertida y Carnot murió sin conocer, sin imaginar quizás, la inmensa gloria que acompañará siempre su nombre.

Esa obra trascendental se encuentra toda en un pequeño opúsculo publicado en 1824, bajo el título de "Reflexiones sobre la Fuerza Motriz del Vapor".

En él, Carnot quería reunir ideas científicas acerca de la máquina de vapor, la que hasta aquella época sólo había sido perfeccionada por tanteos, pocas veces guiados por un conocimiento teórico profundo. Carnot logró ampliamente su propósito y lo sobrepasó desmedidamente, pues enunció el principio que debía ser la base de la termodinámica, de la cual nació una ciencia nueva: la Energética.

Este principio (2), llamado "segundo principio de la Termodinámica", aunque históricamente sea el primero ya que MAYER estableció el principio de la conservación de la energía en 1842, consiste, en su forma primitiva, en reconocer que no se puede producir trabajo con calor si no existen dos fuentes, una fría y otra caliente, o sea un desequilibrio calorífico, y que una máquina por perfecta que sea no puede sobrepasar un cierto máximum de rendimiento que depende exclusivamente de la diferencia de temperatura entre esas dos fuentes.

---

(1) EMILIO PICARD (París 1856) fué alumno de la Escuela Normal, profesor en Tolosa, profesor de la Facultad de Ciencias y Secretario de la Academia de Ciencias de París.

Es matemático, pero la física recuerda sus trabajos de acústica. Su célebre libro "La ciencia moderna y su estado actual" es una de las obras de vulgarización más conocidas. Demuestra Picard en ella, la gran importancia de las matemáticas en las ciencias modernas.

Carlos Emilio Picard no debe ser confundido con MAURICIO ALFREDO PICARD (Estrasburgo 1844-París 1913), célebre ingeniero francés.

(2) CHWOLSON, t. VII, pág. 85 y sigtes.

Pero Carnot emitió este principio en el lenguaje de su tiempo y, un cuarto de siglo más tarde, cuando la ciencia recién pudo aprovechar este descubrimiento prematuro, fué menester traducir las ideas de Carnot a una terminología más adecuada a los nuevos conceptos científicos. CLAUSIUS y KELVIN fueron así traductores y continuadores de la obra del malogrado ingeniero francés. Pero no podemos omitir de citar aquí, al lado de ellos, el nombre de CLAPEYRON (1), pues este sabio fué también continuador de la obra de Carnot, que tradujo al lenguaje matemático.

Entre los términos anticuados empleados por Carnot, se encuentra el de "calórico" y, como idea falsa, la creencia de que el calor no se transforma en trabajo sino que queda intacto y que sólo es la "caída del calórico" desde la fuente caliente hasta la fuente fría lo que produce el trabajo, como la caída del agua mueve las ruedas de un molino sin que una sola gota de agua del líquido se invierta en ese trabajo.

Debemos hacer notar sin embargo que queda demostrado que Carnot empleó el concepto del calórico material y la terminología consiguiente para hacerse entender más fácilmente, pero que emitió serias dudas en cuanto a la exactitud del concepto en sí. Esta única citación lo comprueba: "La ley fundamental que queríamos confirmar nos parece sin embargo exigir nuevas verificaciones para estar fuera de toda duda: está basada en la teoría del calor tal como se

(1) BENITO CLAPEYRON (París 1799-1864), Ingeniero de Minas, ex-alumno de la Escuela Politécnica, fué compañero de LAME en Rusia en la construcción de caminos y en Francia en la instalación de ferrocarriles. Se ocupó mucho del perfeccionamiento de la máquina de vapor para la que inventó e imaginó un avance a la admisión. Más interesante para la física es el estudio matemático de Clapeyron de la obra de Carnot, en 1834 (CHWOLSON, t. VII, pág. 186) y su ecuación de los gases perfectos (CHWOLSON, t. II, pág. 48). Es en la obra de Clapeyron que por primera vez se introducen las curvas de adiabáticas e isotérmicas. La "ecuación de estado" de Clapeyron: $\frac{p,v}{T}$ = constante es, como acabamos de decirlo, aplicable sólo a los gases perfectos y la "ecuación de estado" para los gases reales fué dada (1873) por VAN DER WAALS.

concibe hoy y, debemos confesarlo, esta base no nos parece inconmovible..."

Esta aclaración tiene su importancia histórica pues es costumbre hacer a Carnot un verdadero reproche por haber defendido la teoría del calórico material, cuando en verdad este sabio no hizo más que emplear momentáneamente la teoría clásica de la época, sin defenderla ni aun admitirla.

Leamos algunos fragmentos característicos de la inmortal obra en que el joven sabio emitió su descubrimiento:

"La producción de la potencia motriz en la máquina de vapor es debida no a un consumo real del calórico sino a su transporte de un cuerpo caliente a un cuerpo frío, es decir a su restablecimiento de equilibrio equilibrio que se supone roto por una causa cualquiera, una acción química como la combustión o cualquiera otra...

"Según este principio no basta, para producir potencia motriz, conseguir calor; es preciso también conseguir frío y sin éste el calor sería inútil. En efecto, si no se encontraran más que cuerpos tan calientes como nuestros fuegos. ¿Cómo se llegaría a condensar el vapor? ¿Dónde se colocaría después de producido?..."

..."Se ha visto más arriba este hecho evidente por sí mismo, o por lo menos muy claro cuando se piensa en los cambios de volumen por el calor: "Siempre que exista una diferencia de temperatura puede haber producción de fuerza motriz". Recíprocamente siempre que se pueda consumir potencia motriz es posible producir una diferencia de temperatura, es posible provocar una ruptura de equilibrio en el calórico. ¿La percusión, el frotamiento de los cuerpos no son, en efecto, medios de elevar su temperatura, de hacerlos llegar espontáneamente a un grado más alto que el de los cuerpos que los rodean y producir por consiguiente una ruptura de equilibrio en el calórico?"

Más adelante, CARNOT compara la "caída del calórico" a una caída de agua y establece el "teorema de Carnot" (1):

(1) CHWOLSON, t. VII, pág. 85; GANOT, pág. 326.

"La potencia motriz del calor es independiente de los agentes empleados para producirla; su cantidad es fijada únicamente por las temperaturas de los cuerpos entre los cuales se hace en último resultado el transporte del calórico"...

Este principio era absolutamente nuevo no sólo desde el punto de vista teórico sino también en las aplicaciones, pues indicaba que eran inútiles los esfuerzos de los que buscaban aumentar la fuerza motriz de las máquinas reemplazando el vapor de agua por otros vapores, desde que "la potencia motriz del calor sólo depende, como la potencia motriz de una caída de agua, de la cantidad de calórico empleada y de lo que se podría llamar, y que llamaremos en efecto, la altura de su caída..."

Es al estudiar esta "cuestión a la vez curiosa e importante" de saber si "la potencia motriz varía con el agente que se usa para realizarla, con la substancia intermediaria elegida como sujeto de acción del calor", que Carnot concibió la idea del ciclo cerrado, del ciclo reversible para la obtención del máximum de rendimiento y dió un ejemplo de máquina reversible perfecta que cumple el ciclo cerrado y reversible (1).

El teorema de CARNOT se demuestra actualmente por medio de los dos principios fundamentales de la termodinámica; pero, en 1824, CARNOT no conocía el principio de la conservación de la energía y llegaba a su teorema basándose en la imposibilidad del movimiento perpetuo ó sea "de la creación indefinida de fuerza motriz sin consumo de calórico, ni de ningún otro agente, creación que es completamente contraria a las ideas aceptadas hasta el presente, a las leyes de la mecánica y de la sana física..." (2)

Carnot ha descubierto, pues, en una época en que no podía ser comprendido por sus contemporáneos, el segundo principio de la termodinámica, que había de ser desarrollado por KELVIN y por CLAUSIUS.

(1) ARIES, ob. cit., pág. 26-37; CHWOLSON, t. VII, pág. 70; GANOT, pág. 325
(2) CHWOLSON, t. VII, pág. 86; ARIES, ob. cit., pág. 38-39.

Es interesante observar además que no sólo Carnot no conoció la gloria sino que, aún después de la creación de la termodinámica, su gloria póstuma le vino del extranjero: de Inglaterra y de Alemania. LORD KELVIN recordaba que, en 1845, buscó en vano en todas las librerías de París la inmortal obra de Carnot; ningún librero conocía el opúsculo, ni aun al autor, y se empeñaban en ofrecer a KELVIN las obras de todos los parientes de Sadi Carnot, de conocida actuación política.

Para que el segundo principio pudiese llegar a su completa eficacia para la ciencia, necesitaba apoyarse en el primer principio de la termodinámica o sea el principio de la conservación de la energía. Hemos visto que se hace injustamente a Carnot el reproche de haber defendido la teoría del calórico material y que una simple lectura de su obra basta para demostrar la inexactitud de esta afirmación; algunos manuscritos que fueron encontrados entre los apuntes de Carnot, después de su muerte prematura, y que sólo fueron conocidos en 1878, cuando su hermano, el senador HIPOLITO CARNOT, los entregó a la Academia de Ciencias, demuestran no solamente que Carnot no creía en el calórico material, sino que ya conocía el principio de la conservación de la energía, más de diez años antes de que éste fuese enunciado por MAYER (véase).

Este importante descubrimiento histórico que eleva tanto el valor de la obra de Carnot, descubridor de los dos grandes principios de la termodinámica, no disminuye absolutamente en nada el mérito de MAYER, pues éste descubrió el principio de la conservación de la energía en 1842, por un trabajo esencialmente personal, que permite considerar con justicia a este sabio como uno de los físicos más geniales del siglo XIX.

El descubrimiento del principio de la conservación de la energía realizado por Carnot permaneció inédito y completamente desconocido durante medio siglo y no ejerció por consiguiente influencia alguna sobre el progreso de la ciencia; pero el hecho tiene un indiscutible valor histórico, pues

acrecenta nuestra admiración por Sadi Carnot sin desmedrar en nada el valor efectivo de la obra de MAYER.

Este curioso hecho histórico es comparable a lo que aconteció con CAVENDISH, quien ha precedido a COULOMB y a FARADAY, pero cuyos manuscritos sólo fueron conocidos cuando MAXWELL los descubrió y publicó en 1879.

Las "Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego" conocieron muchas ediciones y en algunas de ellas (la de Hermann, por ejemplo) se ha agregado la memoria que demuestra que Carnot conocía el principio de la conservación y entendía perfectamente que el calor y la "potencia motriz" son una sola y misma cosa y que se podría establecer con exactitud la proporción existente entre el trabajo producido y el calor gastado, o sea el equivalente mecánico del calor.

Citaremos el párrafo siguiente de esta memoria que no es sino un clarísimo enunciado del "principio de MAYER":

> " El calor no es otra cosa sino la potencia motriz " o más bien el movimiento que ha cambiado de forma. " Es un movimiento en las partículas del cuerpo. Siem- " pre que haya destrucción de potencia motriz, hay al " mismo tiempo producción de calor en cantidad exac- " tamente proporcional a la cantidad de potencia motriz " destruída. Recíprocamente, siempre que haya destruc- " ción de calor, hay producción de potencia motriz".
>
> " Se puede pues considerar en tésis general que la " potencia motriz se conserva en cantidad invariable " en la naturaleza, que no puede ser nunca verdadera- " mente producida ni destruída. En verdad cambia de " forma... pero no es jamás aniquilada".

Carnot dió el valor del equivalente mecánico del calor: "Según algunas ideas que me he formado acerca de la teoria del calor, la producción de una unidad de potencia motriz (la tonelada-metro) necesita la destrucción de 2.70 unidades de calor".

Considerando que tomaba 1.000 kilográmetros como unidad de potencia motriz, una simple división nos da el valor de $\frac{1000}{2.70} = 370.3704$ para el equivalente mecánico del calor.

Más aún, Carnot ya había establecido un programa de experimentos para demostrar definitivamente la equivalencia entre el trabajo y el calor, que no son sino la previsión de los experimentos que con tanto acierto realizaron JOULE, COLDING e HIRN.

Decía en efecto en uno de sus manuscritos inéditos:

> "Repetir el experimento de RUMFORD; pero "medir la potencia motriz consumida al mismo tiempo "que el calor producido; mismos experimentos con "otros metales y con la madera; golpear un trozo de "plomo, medir la potencia motriz y el calor; mismos "experimentos con otros metales. Agitar fuertemen- "te agua...; mismos experimentos con alcohol, mer- "curio, aire y otros gases..."

En resumen: la obra eficaz de Carnot ha sido su descubrimiento del segundo principio de la termodinámica que enunció en 1824, empleando en sus explicaciones los conceptos y la terminología de sus contemporáneos, con el "calórico material"; pero manuscritos descubiertos demasiado tarde para poder influir sobre el progreso de la ciencia, demuestran que, en estudios posteriores, Carnot descubrió el principio de la conservación de la energía, estableció el equivalente mecánico del calor y se proponía realizar los experimentos que hicieron célebres a JOULE, COLDING e HIRN (1).

KELVIN y PICARD tienen pues razón: Carnot fué un precursor prodigioso y genial, y su obra es de las más grandes que registra la historia de las ciencias.

---

(1) CHWOLSON, t. VII, pág. 11-14.

POGGENDORFF
(1796-1877)

Galvanómetro multiplicador. Medición de ángulos de rotación. Conmutador. Polarización electrolítica. Perfeccionamiento de la máquina de Atwood. Balanza de polarización. Estado esferoidal. Puente de Wheatstone. Ley de Joule.

JUAN CRISTIAN POGGENDORFF nació en Hamburgo en 1796 y murió en Berlín en 1877.

Huérfano desde sus primeros años, tuvo que luchar para preparar su porvenir; fué empleado en una farmacia y al mismo tiempo estudió ciencias farmaceúticas, física y química en la Universidad de Leipzig.

En 1821, desempeñaba un cargo en la Universidad de Berlín cuando se hizo conocer por un artículo acerca del "Magnetismo de la pila de Volta", en que describía un galvanómetro multiplicador. Poggendorff debe compartir pues con SCHWEIGGER (1) el mérito del invento de este aparato, aunque SCHWEIGGER parece haberlo precedido en algunos meses en el descubrimiento de su sencillo principio.

SEEBECK dió a esos aparatos su nombre de "multiplicadores". NOBILI (1825) los perfeccionó pero, como lo establecía la ley de BIOT y SAVART, los multiplicadores no podían dar medidas exactas. Esta exactitud fué lograda por POUILLET (véase) con su brújula de tangentes (1837) en la cual creyó equivocadamente conveniente dar una forma rectangular al circuito, al que Poggendorff restituyó la forma circular (1840).

---

(1) SCHWEIGGER (Erlangen 1779-Halle 1857), fué profesor de la Escuela Politécnica de Nuremberg y más tarde en Halle. En setiembre de 1820, enunció por primera vez el principio del galvanómetro multiplicador: "Para hacer más visible los fenómenos electromagnéticos, se puede recurrir a otro medio que el aumento de las dimensiones de la batería. Ya que el hilo que, saliendo del polo positivo, pasa encima de la aguja, produce el mismo efecto que el hilo que, saliendo del polo negativo, pasa debajo, se tiene un medio simple de aumentar la acción sobre la aguja, rodeando la aguja simultáneamente con los dos hilos..."

En 1824, Poggendorff formó parte de la redacción de los célebres "Anales de Física y de Química". En 1826, propuso su conocido método para la medición de pequeños ángulos de rotación (1), que fué utilizado en la brújula de tangente perfeccionada por QUINCKE así como en el electrómetro absoluto de KELVIN.

En 1834, recibió el título de doctor en filosofía y fué nombrado profesor de física en la Universidad de Berlín, puesto que desempeñó hasta su muerte. En 1838, fué elegido miembro de la Academia de Ciencias de Berlín, y ese mismo año inventó un conmutador para las máquinas de inducción de reciente invención como la de SAXTON. En 1840, inició sus estudios de la polarización electrolítica, intermediarios entre los de FECHNER y los de LENZ (1843) (2). Buscó el medio de librarse de la polarización gaseosa utilizando la corriente alterna de una máquina de SAXTON, pero KOHLRAUCH demostró que, aun en este caso, se produce la polarización.

En 1841, Poggendorff perfeccionó la pila de GROVE en el dispositivo del vaso y continuaba sus investigaciones sobre polarización. Fué este el año en que recibió la célebre memoria de MAYER a la cual no dió publicación en los "Anales" (véase MAYER).

En 1843, perfeccionó la máquina de ATWOOD midiendo la aceleración por el peso de caída de un cuerpo, siendo esta modificación perfeccionada de nuevo por K. L. BAUER (1882).

En 1844, inventó una balanza para demostrar la polarización en que se cargan voltámetros en paralelo y se descargan en serie, lo que multiplica la fuerza electro-motriz por el número de voltámetros (3); en este año también realizó el experimento clásico de la demostración del estado esferoidal por la interrupción del circuito que pasa por la gota y la plancha caliente (véase BOUTIGNY).

En 1846, encontró las fórmulas aplicables al puente de WHEATSTONE (véase) inventado por este sabio poco

(1) CHWOLSON, t. I, pág. 316; GANOT, pág. 433.
(2) CHWOLSON, t. X, pág. 261.
(3) CHWOLSON, t. X, pág. 260.

antes (1844). En 1848, Poggendorff hizo la comprobación de la ley de JOULE sobre la relación entre el calor y la intensidad de la corriente e imaginó un perfeccionamiento del dispositivo del voltámetro. En 1855, fué Poggendorff quien dió la explicación teórica de la demostración realizada por FOUCAULT, en el mismo año, del calor producido por la inducción de corriente en el experimento de ARAGO. En 1865, perfeccionó la bomba de mercurio de GEISSLER (1857), haciendo fija la comunicación entre los vasos y elevando entonces el mercurio con una bomba de émbolo.

Pero, a pesar de todas esas y varias otras contribuciones a la física, Poggendorff debe ser recordado especialmente como historiador de ciencias. Dió, en la Universidad de Berlín, una serie de conferencias sobre la historia de la física; pero se rehusaba siempre a reunirlas en un libro por considerar que aun le faltaban datos y mayores presiciones. Después de su muerte, sus apuntes fueron reunidos por algunos de sus discípulos y formaron aquella tan célebre "Historia de la Física", que ha sido la base de todas las obras similares, desde su publicación en 1878. No hemos hecho excepción a esta regla y el libro de Poggendorff ha sido una de nuestras principales obras de consulta para la historia de la física hasta fines del siglo XVIII.

DUHAMEL
(1797-1872)

Conductibilidad del calor en sólidos y cristales. Teoría de las fuerzas. Acústica: leyes de tubos cónicos. Vibraciones de cuerdas metálicas. Teoría del arco. Composición de sonidos.

JUAN MARIA CONSTANTINO DUHAMEL, nació en Saint Maló en 1797 y murió en París en 1872.

Hizo brillantes estudios en el Liceo de Rennes y a los 16 años se presentó a la Escuela Politécnica. Fué admitido,

pero como su número de admisión no lo satisfacía, volvió a presentarse el año siguiente, con mayor preparación, y se colocó segundo.

En 1816, a consecuencia del nuevo régimen político francés, todos los alumnos de las escuelas militares fueron licenciados y Duhamel fué alcanzado por esta disposición.

Estudió entonces, derecho en Rennes, pero también tuvo que abandonar esa escuela por cuestiones políticas.

Volvió a París, donde se dedicó a la enseñanza y a estudios científicos originales, y POINSOT (1), BIOT, AMPERE, FOURIER y SAVART fueron sus amigos y protectores.

Influído por FOURIER, sus primeros estudios tuvieron por objeto la conductibilidad del calor en los sólidos y más especialmente en los cristales, precediendo así en mucho los experimentos de SENARMONT (2) sobre la misma cuestión.

Pero fué hacia la acústica que Duhamel dirigió sus mayores esfuerzos. Más matemático que físico, no podía elegir mejor su especialidad ya que, en el estudio del calor, era difícil sobrepasar la obra de FOURIER mientras que en acústica, después de SAVART, experimentador de gran valer, faltaba aún el calculador minucioso que verificara analíticamente sus teorías.

Duhamel murió a la edad de 75 años, poco después de haber renunciado a sus cátedras en la Escuela Politécnica, la Escuela Normal y la Sorbona y pocos días después de ha-

---

(1) LUIS POINSOT (París 1777-1859), eminente matemático francés, sucesor de LAGRANGE en la Academia de Ciencias; sus "Elementos de Estática" fueron clásicos durante varias décadas. Se le debe el concepto del "par de fuerzas" que sustituyó al "momento" de VINCI y GALILEO. (Elogio Histórico de Poinsot, por J. Bertrand, Rev. Gén. des Sciences, 1890, pág.753-760).

(2) ENRIQUE HUREAU DE SENARMONT, mineralogista y físico francés (Estrasburgo 1808-París 1862). Fué profesor de física en la Escuela Politécnica y de mineralogía en la Escuela de Minas. En 1852, ingresó en la Academia de Ciencias.

En física, sus principales estudios tienen relación con la mineralogía, pues consisten en la conductibilidad de los cristales y la óptica de los cristales (doble refracción, luz elíptica, polarización).

ber intervenido aún en las sesiones de la Academia de Ciencias de la que era miembro activo.

En matemáticas, Duhamel prefirió el método diferencial de LEIBNITZ al método de las derivadas de LAGRANGE.

En mecánica analítica, se ocupó eficazmente de la teoría de las fuerzas.

En acústica, estableció las leyes de los tubos cónicos de órgano y explicó las vibraciones de las cuerdas metálicas. Demostró matemáticamente en su teoría del arco, el hecho no observado anteriormente, de que una cuerda cesa de vibrar después de una acción continua del arco y que puede producir sonidos más graves que su nota fundamental.

En 1840, Duhamel estudió la composición de varios sonidos simultáneos y llegó a resultados que inspiraron indiscutiblemente a HELMHOLTZ. Aprobó las conclusiones de OHM (véase) según las cuales una nota simple es producida por una vibración pendular o sea una vibración cuya ley matemática es igual a la de las oscilaciones pendulares.

Demostró que los cuerpos que producen varios sonidos simultáneos ejecutan vibraciones mixtas que no son sino la superposición de vibraciones simples que el oído distingue separadamente.

Para comprobar experimentalmente sus demostraciones matemáticas, Duhamel imaginó el dispositivo gráfico consistente en un estilete fijo en una varilla o en una cuerda vibrante, que inscribe sus vibraciones en un cilindro cubierto de negro de humo y animado de un movimiento giratorio controlado (1840). Este aparato estaba inspirado en el dispositivo con que G. WEBER (1830) inscribía las vibraciones de un diapasón en una lámina de cristal.

WERTHEIM (1842) invirtió el dispositivo de Duhamel para medir pequeños espacios de tiempo. Pero para medir las vibraciones es preferible al aparato de Duhamel el "microscopio de vibraciones" de LISSAJOUS (1857) que HELMHOLTZ perfeccionó (1863).

En resumen puede afirmarse que la valiosa obra cientí-

fica de Duhamel consistió en llevar a la acústica, el espíritu analítico de FOURIER.

Recordaremos en fin, que J. M. Duhamel no debe ser confundido, como lo hacen varios autores, con el físico del siglo XVIII, DUHAMEL DU MONCEAU.

SAINT VENANT
(1797-1886)

·Teoría de los fenómenos de derrame de sólidos. Flexión. Torsión. Elasticidad y choque. Derrame del aire.

BARRE DE SAINT VENANT, matemático francés, que nació en 1797 cerca de Melun y murió en Vendome en 1886, debe ser citado también como físico y químico.

Como tantos otros sabios franceses, fué alumno de la Escuela Politécnica (1813), pasó a la Escuela de Aplicación y entró en el Servicio de Puentes y Caminos.

Se ocupó durante muchos años de su profesión y la abandonó en 1850, cuando ganó por concurso la cátedra de Construcción Rural en el Instituto Agronómico de Versalles. Fué nombrado, poco después, profesor de la Escuela de Puentes y Caminos y, en 1868, reemplazó al general PONCELET en la Academia de Ciencias.

En física, su nombre debe ser recordado por haber sido autor de la teoría analítica de los fenómenos de derrame de los sólidos estudiados por TRESCA (véase) y también por sus célebres estudios de la flexión y la torsión.

Observó que la flexión es acompañada por movimientos transversales y longitudinales que contribuyen a la ruptura; estudió primero la flexión circular; dió la solución del problema de la flexión de una varilla fija en un extremo y cargada en el otro (1856); dió una teoría de la torsión más general que la de COULOMB.

Hemos dicho ya, al estudiar los autores correspondientes, que EULER (1746) comprendió el problema del

choque en el estudio general de la elasticidad y que POISSON (1816), CAUCHY (1826) siguieron esa ruta mientras que POUILLET (1845) agregó el estudio de la duración del choque siendo ampliadas sus investigaciones por SCHNEEBELI (1871). Saint Venant se ocupó del choque en 1867, y siguió los trabajos de POISSON y de CAUCHY dedicándose especialmente a la influencia de las ondas longitudinales de varas metálicas. VOIGT (1883) y NEUMANN (1885) continuaron esos estudios.

Para la exposición de estos importantes trabajos que extenderían excesivamente esta nota, reportaremos al lector a la obra de CHWOLSON. (1)

Agregaremos en fin, que Saint Venant se ocupó también del derrame del aire en los tubos, cuestión iniciada por TORRICELLI.

NEUMANN
F. E. NEUMANN (1798-1895)
C. NEUMANN (1832-1925)

F. E. Neumann: Teoría de ondas longitudinales. Adaptación teoría potencial a la inducción. Leyes de la inducción. Verificación ley de Dulong y Petit, y su ampliación.

Carlos Neumann: Rotación electromagnética del plano de polarización. Discusión ley de Weber. Principio velocidad virtual. Elasticidad.

FRANCISCO ERNESTO NEUMANN nació en Joachimsthal en 1798 y murió en Koenisberg en 1895.

Físico matemático, profesor de la Universidad de Koenisberg, se ha ocupado especialmente de óptica y de electricidad, estando su nombre colocado al lado del de FRESNEL

(1) CHWOLSON, t. II, págs. 400, 414 y sigtes.

en óptica y de los de AMPERE, GAUSS y WEBER en electricidad. Es autor de la teoría de polarización con vibraciones luminosas paralelas al plano de polarización (1) en oposición, como ya lo hemos visto, con la teoría de FRESNEL (véase).

En electricidad, su importante obra pertenece también a la física matemática superior; es la continuación de todo ese conjunto de teorías matemáticas de la electrodinámica iniciado por AMPERE y en que tanto se destacaron GAUSS y WEBER, y es especialmente su adaptación a la inducción (2). Fué en 1845 que Neumann realizó esa obra que tuvo como base la aplicación de la teoría del potencial de GAUSS a la inducción y cuyos resultados fueron las leyes de la inducción y varios teoremas de fundamental importancia (3), leyes que HELMHOLTZ demostró estar de acuerdo con el principio de la energía (1847), que Neumann y WEBER hicieron coincidir con las consecuencias de sus propias teorías, y leyes que HERTZ puso de acuerdo con la teoría de MAXWELL.

Anteriormente a esa obra, en 1831, Neumann se ocupó del calor específico y especialmente de la generalización y de la verificación de la ley de DULONG y PETIT (4). Demostró la aproximación de esa "regla" y agregó que "En todos los cuerpos compuestos de constitución química semejante, el producto de la capacidad calorífica por el peso molecular, es aproximadamente constante". Este teorema, comprobado por REGNAULT, fué ampliado por KOPP (1864) en la forma siguiente: "El calor atómico de una combinación es igual a la suma del calor atómico de sus componentes", siendo KOPP el que llamó "calor atómico" el producto del calor específico por el peso atómico. En 1862, estudió el método de ANGSTROM de la conductibilidad calorífica

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 59.
(2) CHWOLSON, t. XI, pág. 379 y t. XII, pág. 46.
(3) HOPPE, "Histoire de la Physique", pág. 570.
(4) CHWOLSON, t. VI, pág. 249 y biografía de DULONG.

de sólidos y estableció un método para la determinación de su capacidad calorífica (1).

El hijo de Francisco E. Neumann, CARLOS NEUMANN, nació en Koenisberg en 1832 y murió en 1925. Hizo sus estudios en Tubinga y en Leipzig y siguió el glorioso camino de su padre dedicándose al estudio matemático de la óptica y de la electricidad. Su primer trabajo, tésis de su doctorado (1858), fué la explicación física basada en la teoría de WEBER, de la rotación electromagnética del plano de polarización, fenómeno que, como hemos visto (véase AIRY), había sido estudiado por AIRY (1846) apenas fué descubierto por FARADAY (1845).

En 1869, C. Neumann intervino activamente con un trabajo de valor en la gran discusión sobre la ley de WEBER en la que intervinieron GAUSS, RIEMANN, HELMHOLTZ, ZOLLNER, CLAUSIUS y BUDDE (1842-1921).

En el mismo año, publicó su discusión de los estudios analíticos sobre el principio de la velocidad virtual cuya historia hemos seguido desde HERON hasta GAUSS pasando por VINCI, GALILEO, JUAN BERNOULLI, MAUPERTUIS, D'ALEMBERT, LAGRANGE y FOURIER.

En 1885, estableció una teoría general de la elasticidad que agregó nuevos progresos a la obra analítica ya realizada por EULER, POISSON, CAUCHY, SAINT VENANT y VOIGT.

---

(1) CHWOLSON, t. VI, pág. 341.

MELLONI
(1798-1853)

Determinación con el "termo multiplicador" del calor radiante, poderes reflector, absorbente, emisivo, "diatérmano". Teoría de identidad de las radiaciones luminosas, caloríficas y químicas. Distintas radiaciones caloríficas.

MACEDONIO MELLONI nació en Parma en 1798 y murió en Nápoles en 1853.

Desde 1824, ocupaba la cátedra de física en la Universidad de su ciudad nativa cuando, en 1830, demostró con excesivo entusiasmo su admiración por los estudiantes parisienses que habían tomado parte en la revolución recientemente estallada en Francia. Con tal motivo, el demasiado entusiasta profesor fué desterrado; se estableció primero en Ginebra, luego en Francia, donde enseñó física sucesivamente en Dole y en París.

Tres años más tarde, gracias a la intervención de los inseparables y generosos amigos ARAGO y HUMBOLDT, el sabio italiano pudo volver a su patria y fué nombrado profesor de la Universidad de Nápoles. Melloni murió en esa última ciudad, a los cincuenta y cinco años, víctima de una epidemia de cólera y poco después de haber sido nuevamente separado de su cargo docente por razones políticas.

Melloni se ha ocupado de varias partes de la física, pero es al calor que ha dedicado sus mayores esfuerzos y su celebridad se debe casi exclusivamente a los importantes descubrimientos que hizo en este estudio.

"Los resultados que ha obtenido sobre el calórico" decía ARAGO "forman ya una rama de la física..." y DE LA RIVE lo llamaba "el NEWTON del calor".

Para someter metódicamente todos los fenómenos caloríficos a una rigurosa observación, Melloni inventó el "termo-multiplicador" que lleva su nombre aunque no consiste

más que en una pila termo-eléctrica de NOBILI (1) adaptada a un galvanómetro.

Este tan sensible aparato (2) le permitió hacer determinaciones cuantitativas muy exactas sobre el calor radiante y los poderes reflector, absorbente (3), emisivo (4), y diatérmano (5).

Melloni demostró que la radiación calorífica proviene no sólo de la superficie sino de las capas profundas del cuerpo emisor, y probó que el poder absorbente varía según la fuente que emite los rayos y según la inclinación de estos. Imaginó los términos de cuerpos "diatérmanos" o sea transparentes al calor radiante, y "atérmanos", opacos a ese calor. Observó (1832) que las causas de variación de poder diatérmano son la naturaleza de las pantallas atravesadas por el calor, su pulido, su espesor, su número y la naturaleza de la fuente de calor.

La igualdad entre el poder emisivo y el poder absorbente expresados con relación al negro de humo, demostrada definitivamente por Melloni (1835), ya había sido señalada por PREVOST en 1792 y por RITCHIE en 1833. BIOT, en 1836, reunió en una memoria los resultados obtenidos y, más tarde, DE LA PROVOSTAYE y DESAINS (1850) y sobre todo KIRCHHOFF (1859) desarrollaron este estudio.

Melloni demostró con prismas y lentes de sal gema que el calor radiante sigue las mismas leyes de refracción y aún de polarización y de interferencia que la luz. De allí dedujo

(1) LEOPOLDO NOBILI (Módena 1794-1835). Físico electricista italiano, siguió de cerca los célebres trabajos de ARAGO, AMPERE y FARADAY y colaboró al movimiento científico que estos trabajos provocaron. En 1829-30 inventó el célebre "termo-multiplicador" y fué el primero en observar la producción de una fuerza electromotriz por el contacto de dos líquidos. Perfeccionó el multiplicador de SCHWEIGGER y de POGGENDORFF. Fué uno de los primeros en construir un verdadero galvanómetro, o sea en aplicar el experimento de OERSTEDT a determinaciones cuantitativas.

(2) GANOT, pág. 208.

(3) CHWOLSON, t. III, pág. 269.

(4) CHWOLSON, t. III, pág. 260.

(5) CHWOLSON, t. III, pág. 269-274.

en 1850, toda una teoría nueva (1) que expuso en su "Termocromos o Coloración Calorífica". Esta teoría consiste en encontrar una identidad perfecta entre todas las radiaciones luminosas, caloríficas y químicas, como ya lo enunciaba en su "Memoria acerca de la identidad de las diversas radiaciones luminosas, caloríficas y químicas" (1842), y considera que el calor está formado como la luz, por distintas especies de rayos como ya lo había supuesto FORBES (1838), verdaderos colores distintos del calor, más o menos absorbibles por las substancias. Esta teoría encontró una confirmación experimental en los trabajos de JAMIN y de MASSON.

El comienzo de los estudios de Melloni sobre el calor casi coincide con la muerte de LESLIE (1832) de quien el sabio italiano fué el ilustre continuador y quien había sido precedido a su vez en esos estudios de la radiación calorífica por RUMFORD (1804), DE LA ROCHE (1817) y DULONG y PETIT (1819).

Después de Melloni dichos estudios fueron seguidos principalmente por KNOBLAUCH, TYNDALL, MAGNUS (véase), WILD, FORBES (2), DE LA PROVOSTAYE, DESAINS, RITCHIE, DRAPER, ANGSTROM, etc.

---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 271.

(2) JAIME FORBES (Edimburgo 1809-1868), físico escocés, de familia noble, emparentado con Walter Scott. A los diez y nueve años de edad entró en la Sociedad Real de Edimburgo y a los veintitrés en la de Londres. Descubrió la polarización del calor, en 1845, y estudió su refracción, doble refracción y polarización rotatoria. (TYNDALL, "El Calor, Modo de movimiento", pág. 451).

BOUTIGNY
(1798-1884)

Estado esferoidal.

PEDRO HIPOLITO BOUTIGNY nació en una pequeña aldea cerca de Harfleur (Normandía) en 1798 y murió en Evreux en 1884.

Boutigny fué un "franco tirador" de las ciencias y por esta razón los soldados de las tropas regulares, profesores de las universidades y miembros de academias oficiales, ignoraron su obra y lo abandonaron en un injusto recluimiento. Esta lamentable injusticia, que se repite de tarde en tarde en la historia de la ciencia y de la cual ignoramos sin duda otros ejemplos que permanecerán siempre desconocidos, no debe significar un cargo personal a los sabios entre los cuales tantos se destacaron por su ilimitado desinterés y su infinito amor por la ciencia, pero nos obliga a reconocer que la organización misma del mundo científico lo defiende y aisla a veces con exagerada cautela, volviéndolo inaccesible a sabios de valer, simplemente porque no pertenecen a ningún cuerpo docente universitario ni a ninguna academia. Varias veces en esta obra citamos casos de tales sabios, quienes, desalentados, pierden la fe en su propia obra y se alejan para siempre de la ciencia.

Farmacéutico en Evreux, de 1823 a 1841, Boutigny abandonó esa pequeña ciudad con la esperanza de poder continuar más fácilmente su carrera científica en un ambiente más amplio. Fué vana esta esperanza, pues a pesar de haberse hecho conocer ya por varios trabajos de química y de física, ni en París ni en Inglaterra, donde se dedicó a la química industrial, pudo el sabio penetrar en el hermético mundo científico. Volvió, viejo ya, a Evreux, donde murió casi ignorado.

La obra principal de Boutigny es su estudio del estado esferoidal, cuestión en cuya historia su nombre ocupa uno de los primeros puestos en la lista formada por ELLER,

LEIDENFROST, ARMSTRONG (1), BAUDRIMONT, BERGER, BUFF (2), COLLEY (3), DOEBEREINER (1780-1849), DE LUCA, MARIGNAC (4), MUNCKE, PERKINS, LIBRI, POGGENDORFF, POUILLET, RUMFORD, SUDRE, TYNDALL, HESEHOUS, KRISTENSEN, GOSSART (5), STARK, PIERRE (1812-1881), WOLFF y otros.

El estado esferoidal fué observado por primera vez por MUSSCHENBROEK en 1734 y fué nuevamente observado por ELLER en 1746. Diez años más tarde, LEI-

(1) ARMSTRONG (Newcastle on Tyne 1810-1900), inventor inglés. Abogado recibido en Oxford y Cambridge, ejerció poco tiempo la profesión, que abandonó para estudiar las ciencias. En 1847, abrió un taller de material de artillería, donde inventó el célebre cañón que lleva su nombre y que le valió el título de par de Inglaterra y barón. Era miembro de la Sociedad Real de Londres e Ingeniero Jefe del Ministerio de la Guerra. En física se recuerda su memoria acerca del "Movimiento eléctrico en el aire y en el agua" y su máquina hidro-eléctrica. Ese estudio y este invento se debieron al descubrimiento casual que hizo un obrero, en 1840, de que el vapor que se escapa de una máquina se electriza en el aire. Pero hemos visto ya que FRANKLIN y NOLLET, en 1749, observaron la rápida evaporación del agua electrizada, que LAVOISIER y LAPLACE (1782) observaron que el agua que se vaporiza en un recipiente metálico se electriza negativamente y su vapor positivamente; que VOLTA y GARDINI estudiaron la electrización provocada por la evaporación del agua precipitada sobre cuerpos muy calientes; que POUILLET (1827) y PELTIER (1840) estudiaron la electricidad por evaporación y las condiciones químicas del agua del recipiente. REICH, RIESS y FARADAY explicaron el fenómeno como electricidad de frotamiento. El invento de Armstrong consiste simplemente en la reproducción del fenómeno por medio de una caldera aislada que proyecta vapor sobre un conductor aislado. Esta interesante máquina no tuvo nunca aplicación práctica, pues su funcionamiento dentro de un laboratorio ofrece múltiples inconvenientes.

(2) ENRIQUE BUFF (Giessen 1805-Roedelheim 1878), químico alemán. Trabajó en París con LIEBIG y GAY-LUSSAC. Estudió mucho la conductibilidad del calor. En electricidad se le debe una modificación de la pila de DANIELL y estudios sobre la pila y sobre la electrólisis y la inducción. Era partidario de la resistencia de paso.

(3) ROBERTO A. COLLEY (1845-1891), físico ruso, se especializó en electricidad.

(4) GALISARD DE MARIGNAC (1817-1894), químico suizo. Estudió en la Escuela Politécnica y en la Escuela de Minas de París. Se ocupó de varios puntos de física y especialmente de calorimetría.

(5) GOSSART (Bavincourt 1849), físico francés, profesor de la Universidad de Burdeos (1897) y director de su Escuela Industrial (1902), se ocupó principalmente de electricidad y se le deben algunos inventos.

DENFROST (1) notó la formación de pequeñas esferas de agua hirviente sobre una chapa de metal y se designó injustamente al fenómeno con el nombre de "fenómeno" de Leidenfrost", a pesar de que este sabio no agregara nada nuevo a lo ya observado por los dos sabios anteriormente citados. Se explicó entonces el fenómeno como la fuerza de repulsión ejercida por el "flogisto" sobre el agua.

En 1808, el italiano BELLANI (2) obtuvo el estado esferoidal con un líquido caliente.

DOEBEREINER, en 1822, explicó con toda claridad, el fenómeno diciendo que es la presión del vapor de agua la que mantiene las gotas de agua, pero esta explicación fué rechazada por MUNCKE (1828) y por BUFF (1828) que creían encontrar una mejor explicación en la supresión de la adherencia por el calor.

PERKINS observó, en 1827, que al enfriarse una caldera, el agua cae con gran ruído sobre el metal y volvió a explicar el fenómeno por una "repulsión del calórico del metal caliente sobre el agua". LIBRI había observado que un hilo caliente rechaza una gota de agua. BAUDRIMONT (3) y DE LUCA (4) pretendieron que el líquido en estado esferoidal tiene una temperatura muy inferior a su punto de ebullición (de 36 a 56° para el agua) y atribuían este enfriamiento a la evaporación. BUFF, en 1832, sostuvo que la gota toca el metal y se aleja de él sucesivamente, pero DOEBEREINER no admitía que existiera contacto alguno entre la gota y el metal.

En 1840, Boutigny sometió el curioso fenómeno a una serie de experimentos (5) y publicó sus resultados en sus

(1) JUAN G. LEIDENFROST (1715-1794), médico y químico alemán.

(2) ANGEL BELLANI (Monza 1776-1852), canónigo en Milán, químico y físico, inventó varios aparatos termométricos, barométricos y meteorológicos.

(3) ALEJANDRO E. BAUDRIMONT (Compiègne 1806-Burdeos 1880), célebre químico francés, tío del también célebre químico ERNESTO BAUDRIMONT (1821-1885).

(4) SEBASTIAN DE LUCA (Cardinale 1820-Nápoles 1880), químico italiano, fué colaborador de BERTHOLLET..

(5) GANOT, pág. 256-7.

"Estudios sobre el Estado Esferoidal", obra que tuvo varias ediciones.

Después de haber bautizado el fenómeno con el nombre de "estado esferoidal", hoy universalmente admitido, Boutigny estableció algunos principios fundamentales: El estado esferoidal se debe a un "inequilibrio" de temperatura entre los cuerpos en estado esferoidal y los recipientes, de modo que "una fuerza repulsiva es ejercida por el calórico" No existe contacto entre el vaso y la gota pues si se tiñe ésta de negro, se puede observar constantemente el espacio entre ella y el sólido por medio de la llama de una vela colocada detrás del dispositivo.

La temperatura del líquido es inferior a su punto de ebullición.

Entre los experimentos de Boutigny, el más sorprendente es el que consiste en congelar agua en un recipiente caliente, experimento que JAMIN llamó "el más hermoso de la física moderna". Para realizarlo basta introducir una gota de agua en ácido sulfuroso líquido, contenido en una cápsula de platino calentada al rojo. Se puede también reemplazar, como lo hacía FARADAY, el ácido sulfuroso por ácido carbónico sólido y el agua por mercurio, llegándose así a congelar el mercurio en el crisol de platino al rojo.

Boutigny explicó que la explosión de las calderas puede ser causada por la terminación repentina del estado esferoidal, y de esta explicación nació la primera idea de las máquinas de vapor "recalentado" que, desde 1850, tomaron cada vez más importancia en la industria y en la locomoción. (1)

Entusiasmado con exceso quiza por el estudio del estado esferoidal, Boutigny le buscó numerosas consecuencias y pretendió encontrar en ese fenómeno la base de originales teorías biológicas, geológicas, químicas y cosmogónicas.

---

(1) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. I, pág. 146.

TALBOT (1800-1877)

Progresos de la fotografía. "Franjas de interferencias". Rayas características de sales metálicas.

FOX TALBOT nació en 1800 en Lacock (Inglaterra) y murió en el mismo pueblo en 1877.

Pertenecía a una familia ilustre y se ocupó de matemáticas y de arqueología como aficionado. No se sabe exactamente por qué razón Talbot se interesó en la fotografía, estudio en el cual fué el continuador directo de NIEPCE y de DAGUERRE (véase); pero parece probable que fuera atraído a esta cuestión por haber tenido conocimiento de los trabajos de NIEPCE, que estuvo en Inglaterra en 1827, con motivo de una enfermedad de su hermano CLAUDIO, y en el curso de ese viaje presentó una memoria a la Sociedad Real de Londres, memoria que no fué aceptada porque NIEPCE se rehusaba a divulgar el secreto de su procedimiento. Nada habría de extraño pues, que Talbot hubiese tenido conocimiento de esta actitud de NIEPCE y se hubiese empeñado en descubrir su secreto. Lo cierto es que, cuando corrió el rumor de que DAGUERRE iba a dar a conocer un método fotográfico nuevo, Talbot se apresuró a comunicar a la Sociedad Real un resumen de todos sus trabajos anteriores. Estos trabajos no eran muy originales, pues el procedimiento en que se basaba era la impresión de la imagen en un papel cubierto de cloruro de plata, exactamente como ya lo habían hecho CHARLES, WEDGWOOD y DAVY, en infructuosas tentativas que Talbot desconocía.

En 1840, pocos meses después de la revelación del procedimiento de DAGUERRE y a consecuencia de él sin duda, Talbot empleó el ácido gálico como revelador de papeles cubiertos de ioduro de plata y BIOT hizo conocer este importante descubrimiento a la Academia de Ciencias. Con este procedimiento Talbot obtenía primero un negativo en papel que, fotografiado de nuevo o simplemente colocado sobre otro papel, daba la prueba positiva.

El empleo del hiposulfito de sodio como fijador de las impresiones fotográficas sobre el papel se debe, según VAN MONCKHOVEN (1), a JUAN HERSCHEL.

Debe mencionarse todavía como invento de Talbot en fotografía, su procedimiento de grabado por la gelatina bicromatada, que realizó en 1852.



TALBOT

Después de los primeros realizadores de la fotografía, NIEPCE, DAGUERRE y Talbot, deben recordarse: GODART y CLAUDET (1814) inventores de procedimientos aceleradores de la sensibilidad de las placas: NIEPCE DE

(1) VAN MONCKHOVEN (Gante, Bélgica. 1834-1882), doctor en medicina, se volvió un gran vulgarizador de la fotografía, se ocupó de las ampliaciones de las fotografías astronómicas y sus placas de gran sensibilidad contribuyeron, como lo vemos en otra parte (véase EDISON), a la solución del problema de la cinematografía. Monckhoven escribió un importante "Tratado de fotografía" (1856) y, en ciencia pura, se ocupó del análisis espectral.

SAINT-VICTOR (1), que reemplazó en 1848, el papel negativo de Talbot por una placa de vidrio; LEGRAY y ARCHER, que, en 1851, emplearon el colodión para la emulsión sensible de la placa; POITEVIN (véase), que, en 1855, imaginó las impresiones positivas inalterables al carbón.

Desde la segunda mitad del siglo XIX, la fotografía constituyó un arte y una industria cuyos progresos ya no pertenecen propiamente a la historia de la física.

Pero la obra científica de Talbot no se limitó a los progresos que aportó a la fotografía. Hemos visto (véase ARAGO, FRESNEL y AIRY) que, en 1831, AIRY estableció la teoría de las interferencias de la luz polarizada o sea el fenómeno que descubrió ARAGO llamándolo "polarización cromática" y que FRESNEL explicó con exactitud. Fué en el mismo año de 1831, que Talbot observó en la parte violada del espectro las "franjas de interferencia de Talbot", fenómeno que fué estudiado por muchos sabios como AIRY, ESSELBACH (1832-1864), STEFAN, DVORAK, etc...

Ya anteriormente, en 1826, Talbot había señalado las rayas características del espectro de diversas sales metálicas, y particularmente del estroncio, colocadas en las llamas. Colaboraba así a las investigaciones realizadas en el mismo sentido por FRAUNHOFER, HERSCHEL y WHEATSTONE y, conjuntamente con ellos, preparaba el descubrimiento de KIRCHHOFF y BUNSEN del análisis espectral, que Talbot preveía cuando afirmaba (1834) que: "Cuando en el espectro de una llama aparecen ciertas rayas determinadas, éstas son las características del metal contenido en la llama".

(1) ABEL NIEPCE DE SAINT VICTOR (Saint Cyr 1805-París 1870), primo segundo de NICEFORO NIEPCE, cursó la carrera militar en la Escuela de Saumur; fué oficial de dragones y llegó a ser comandante del Louvre.

Fué, después de BECQUEREL y antes de POITEVIN, uno de los entusiastas experimentadores de la fotografía en color por el cloruro de plata.

Para completar una biografía de Talbot debería recordarse que, además de físico, fué un anticuario distinguido y un filólogo erudito y que, simultáneamente con los estudios que acabamos de señalar, publicaba obras de otra índole: "Investigaciones de antigüedades clásicas", "Ilustraciones de la Antigüedad del libro del Génesis" y "Etimologías inglesas".

DUMAS
(1800-1884)

La unidad de la materia. Método de determinación de la densidad de los vapores. Absorción de los gases por los sólidos.

JUAN BAUTISTA DUMAS nació en 1800 en Alais (Gard) y murió en París en 1884.

Es más bien en la historia de la química que el nombre de Dumas debe ocupar un importante lugar, pero, aun atribuyéndole una importancia menor de la que merece este gran sabio, su nombre no puede ser callado en una historia de la Física.

Hijo de un oficial del Cuerpo Sanitario y de una partera, el pequeño Dumas entró como empleado en una farmacia al egresar del liceo de su ciudad natal. En 1817, fuése a Ginebra, huyendo de los movimientos políticos y religiosos que agitaban su patria y firmemente determinado a seguir sus estudios. En esa ciudad dirigió el laboratorio químico en una farmacia y se ocupó de botánica y de fisiología.

Fué en esa farmacia de Ginebra que ALEJANDRO HUMBOLDT lo conoció y le aconsejó irse a París. Provisto de recomendaciones de varios sabios suizos como DE LA RIVE, DE CANDOLLE y PICTET, fué admitido en el pequeño centro científico que ALEJANDRO BRONGNIART reunía en su casa, y este sabio lo presentó a los

principales hombres de ciencia, lo tomó bajo su protección y, pocos meses después, le dió su hija en casamiento. LUIS THENARD lo hizo nombrar profesor en el Ateneo; y de allí lo vemos pasar a la Escuela Politécnica, ser elegido miembro de la Academia de Ciencias (1832), enseñar en la Facultad de Ciencias, en la de Medicina y en el Colegio de Francia y colaborar a la fundación de la Escuela Central.

Se ocupó de política y fué diputado de la Asamblea Legislativa; fué Ministro del Comercio (1849), Senador del Imperio, Presidente del Consejo Municipal de París. Desde 1855, renunció a todas sus cátedras para sólo ocupar sus puestos académicos, que eran numerosos y entre los cuales recordaremos que era Secretario Perpetuo de la Academia de Ciencias (1868), miembro de la Academia Francesa (1880), Presidente de la "Société d'Encouragement" después de CHAPTAL y de THENARD, corresponsal de la Academia de Berlín (1834), de la Sociedad Real de Londres (1840), Presidente de la Sociedad Química de Francia, etc. Todos estos títulos, y la lista es muy incompleta, demuestran claramente que Dumas se había conquistado una enorme y justificada celebridad.

La química le debe importantes teorías como la de las sustituciones y la de los tipos; descubrió muchos cuerpos y es considerado en Francia, como el fundador de la química orgánica. Además de químico y físico, fué literato de indiscutible valer, fué historiador de ciencias, fué un gran vulgarizador y fué también el profesor entusiasta de quien PASTEUR decía: "Su enseñanza iluminó mi juventud; he sido el discípulo de los entusiasmos que él me ha inspirado"

En un terreno intermediario entre la física y la química, debemos recordar que Dumas recogió, en 1841, la idea de W. PROUT (1786-1850) de que los pesos atómicos de todos los elementos gaseosos son múltiplos del peso atómico del hidrógeno y que, por consiguiente, puede creerse, como lo hiciera BOYLE, que la materia tiene una unidad que bien podría ser el hidrógeno u otro elemento cuyo peso atómico fuése un submúltiplo del peso atómico del hidrógeno. La opinión de Dumas provocó a su vez la idea de

CHAUCOURTOIS (1862) de la agrupación simétrica de los elementos, germen del glorioso descubrimiento de MENDELEIEFF (1869).

En física, nadie desconoce el clásico método de Dumas para la determinación de la densidad de los vapores (1), que fué perfeccionado por SAINTE-CLAIRE DEVILLE y TROOST (2).

Estudió, en 1878, la cuestión de la absorción de los gases por los sólidos, y demostró que los gases contenidos en los metales hacían cometer errores en la determinación del peso específico de éstos, errores subsanados por la acción del calor y del vacío (3).

Realizó además numerosos perfeccionamientos de aparatos de física y resolvió varios problemas acerca del alumbrado público por el gas.

PLATEAU
(1801-1883)

Forma de los líquidos. Tensión superficial. Esfera de acción de fuerzas moleculares. Vena líquida.

ANTONIO FERNANDO PLATEAU, físico belga, nació en Bruselas en 1801 y murió en 1883.

Hizo, en Lieja, estudios jurídicos y físico-matemáticos simultáneamente, y, a los diez años de haberse doctorado en leyes, fué nombrado profesor de física experimental en la Universidad de Gante (1839). A los cuarenta y dos años de edad (1843), quedó completamente ciego, lo que no le impidió proseguir sus estudios y sus investigaciones, gra-

---

(1) GANOT p. 260, CHWOLSON, t. II p. 26.

(2) LUIS JOSE TROOST, París 1825-1911, químico, profesor de la Sorbona, miembro de la Academia de Ciencias donde sucedió a WURTZ (1817-1884). Su tratado de química es universalmente conocido. En física, se ocupó de las altas temperaturas y de la densidad de los vapores.

(3) CHWOLSON t. II. p. 90.

cias a la ayuda de fieles colaboradores, y conservó además su cátedra universitaria hasta la edad de setenta años. En 1840, fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias de Bélgica y, en 1852, corresponsal de la Academia de París.

El hijo de Antonio Plateau, Félix Antonio, (1841-1911), fué a su vez un distinguido naturalista y geólogo.

Son célebres los trabajos que Plateau realizó en 1861 sobre la forma que adquieren los líquidos bajo la única acción de la tensión superficial (1). Partió para ello de una idea sencilla: es siempre posible sustraer una masa líquida a la acción de la pesantez, colocándola en un medio líquido de la misma densidad pero no miscible con ella, y hacer experiencias como si nuestro mundo hubiera desaparecido. El líquido toma entonces la forma esférica; los fenómenos de tensión superficial se vuelven visibles y ratifican los cálculos.

Dice Plateau en su primer trabajo:

> "Los líquidos, dotados de una extrema mo-
> " vilidad molecular, obedecen con facilidad a la acción
> " de las fuerzas que tienden a modificar su forma
> " exterior. Es la pesantez la que obliga al líquido a amol-
> " darse a la forma inferior de los vasos y es ella la que
> " vuelve plana y horizontal la porción de su superficie
> " libre. Apenas puede notarse, a lo largo del contorno
> " de esa superficie libre una ligera curvatura que revela
> " la acción de las fuerzas combinadas de la atracción
> " del líquido sobre sí mismo y de su adherencia con la
> " materia sólida del vaso. No es sino observando ma-
> " sas líquidas muy pequeñas y sobre las cuales la ac-
> " ción relativa de la pesantez es así atenuada, que se
> " puede ver manifestarse de un modo bien pronuncia-
> " do la influencia de otras fuerzas sobre la figura de
> " esas masas; así las gotitas del líquido colocadas en
> " superficies que no pueden mojar, se redondean en es-

(1) CHWOLSON t. II. p. 193. 199. "Sciences Mathématiques chez les Belges" por A. Quetelet.

" feras más o menos perfectas. Aparte de estas cualida-
" des mínimas, si se quieren observar masas líquidas
" que han tomado libremente una figura propia, es
" preciso abandonar la Tierra, o más bien considerar el
" globo terrestre mismo y los otros planetas como ha-
" biendo sido flúidos primitivamente y habiendo adop-
" tado su forma exterior bajo la acción combinada de la
" atracción y de la fuerza centrífuga. Entonces la teo-
" ría indica que esas masas debieron tomar la forma de
" esferoides más o menos aplanados en el sentido de su
" eje de rotación, y la observación confirma esas deduc-
" ciones de la teoría. La observación nos muestra tam-
" bién alrededor de Saturno un cuerpo de forma anu-
" lar, y la teoría encuentra, en las acciones combina-
" das de la atracción y de la fuerza centrífuga, con qué
" satisfacer el equilibrio de esta forma singular. Pero
" si pudieramos, por un medio cualquiera, sustraer a
" la acción de la pesantez una de esas masas líquidas
" sobre las cuales nos es dado operar, dejándola sin em-
" bargo libre de obedecer a la acción de otras fuerzas
" que tendieran a modificar su forma, y si nuestro pro-
" cedimiento permitiera dar a esa masa dimensiones bas-
" tante considerables, ¿no sería muy curioso verle to-
" mar una figura determinada y ver esta figura variar
" de mil maneras con las fuerzas de las cuales depende?
" Ahora bien, yo he logrado por un procedimiento har-
" to sencillo construir en dichas condiciones una ma-
" sa líquida considerable."

A continuación de estas líneas, Plateau describió los experimentos que todos conocemos por estar relatados en los textos de física, mientras que en trabajos sucesivos buscó numerosas aplicaciones y deducciones teóricas y experimentales de esos fenómenos de equilibrio de una masa líquida desprovista de pesantez.

En sus experimentos con pompas de jabón y láminas líquidas en armazones y en sus determinaciones hechas por medio de la observación de los colores de interferencias en dichas pompas y láminas, Plateau pudo medir la esfera de

acción de las fuerzas moleculares que, según las hipótesis de LAPLACE en su estudio de la capilaridad, es muy reducida, mientras que WILHELMY (1863) se oponía a dicha suposición. Observando una burbuja de jabón de espesor de o'0001113 mm. demostró que la esfera de acción molecular debe tener como radio menos de la mitad de esa magnitud o sea: o'0000556 mm. (1).

En otra serie de trabajos, Plateau estableció una teoría de las modificaciones debidas a un movimiento vibratorio de las venas líquidas que surgen de orificios circulares, basándose allí en estudios de SAVART, y estudiando las combinaciones del movimiento vibratorio con las fuerzas a las cuales está sometida la vena líquida.

Casi al principio de su carrera científica, Plateau estudió detenidamente la irradiación ocular, y al detenerse en la determinación de la permanencia de las imágenes en la retina inventó, en 1833, el "fenakitiscopio" o "zootropio", aparato que utiliza esa permanencia para dar la impresión de un movimiento continuado con la sucesión de imágenes de momentos sucesivos de dicho movimiento. Es este el principio del cinematógrafo y volveremos pues a hablar de este invento del físico belga cuando estudiemos la historia del cinematógrafo en la biografía de EDISON (véase).

A. DE LA RIVE
(1801-1873)

Electromagnetismo. Experiencia de AMPÈRE. Teoría química de la pila. Galvanoplastía. Brújula de senos. Pila de peróxido de plomo.

AUGUSTO DE LA RIVE, nació en Ginebra en 1801 y murió en Marsella en 1873.

Era hijo de CARLOS GASPAR DE LA RIVE (Ginebra 1770-1834) y fué como él un sabio de renom-

---

(1) CHWOLSON t. II. p. 198. HOPPE Hist. de la Phys. p. 117.

bre y un político de actuación sobresaliente en la República de Ginebra.

Carlos de la Rive fué desterrado de su patria durante un período de varios años que pasó en Edimburgo, donde fué nombrado Presidente de la Sociedad Real de Medicina. Volvió a Ginebra en 1799, enseñó química en su Academia y, como miembro del Gobierno, contribuyó a la fundación del Museo de Historia Natural y del Jardín Botánico.

Fué uno de los primeros en reproducir y proseguir los experimentos de OERSTED y, como lo hemos visto, fué en su laboratorio que ARAGO vió por primera vez el experimento fundamental del electromagnetismo, que reprodujo poco después en la Academia de Ciencias de París provocando así los descubrimientos de AMPERE. Carlos Gaspar de la Rive nos ha dejado un galvanómetro en el cual se mide la cantidad de agua descompuesta en un tiempo determinado.

Augusto de la Rive se ocupó también de política y, en 1830, siendo profesor de física, fué desterrado de Ginebra, estableciéndose en Francia y en Inglaterra hasta 1836, fecha en que pudo volver a su ciudad natal.

Augusto de la Rive heredó el entusiasmo de su padre por los grandes descubrimientos del electromagnetismo, y, es a esta parte de la física que se dedicó casi exclusivamente.

Tenía 19 años y estudiaba al lado de su padre, cuando ya pudo conquistarse el incomparable honor de colaborar con éste en la obra inmortal de AMPERE. En setiembre de 1820, AMPERE, en su célebre memoria, mostraba a sus colegas de la Academia de Ciencias que un hilo conductor doblado en forma de rectángulo y suspendido libremente en un plano vertical, actúa exactamente como una aguja imanada, y atribuía su movimiento al lado horizontal inferior que, según él, llevaba a todo el rectángulo; pero Carlos G. de la Rive suprimió este costado del aparato, que por eso no dejó de funcionar. Los enemigos de la novísima teoría magnética de AMPERE vieron allí el fracaso de sus hipótesis y el célebre sabio estaba completamente obsesio-

nado por la solución de esta dificultad, cuando supo que el joven Augusto de la Rive, estudiante de 19 años de edad, había logrado obtener los mismos resultados del rectángulo de AMPERE con un simple hilo vertical, gracias a un dispositivo experimental sumamente delicado.

AMPERE fué en persona a observar los experimentos de su joven colega en la casa de campo de los de la Rive, y el experimento de Augusto de la Rive así como sus comentarios contribuyeron eficazmente a completar y hacer triunfar la teoría de AMPERE (1).

La teoría química de la pila encontró en Augusto de la Rive y en su amigo FARADAY dos de sus mejores defensores y hemos dicho, al tratar esta cuestión con la vida de VOLTA, que, hacia 1835, estos dos sabios dieron prematuramente la victoria a esa teoría, triunfando sobre la teoría del contacto que tenía grandes adeptos como OHM, BIOT y FECHNER.

Augusto de la Rive puede ser considerado como el inventor del dorado por galvanoplastía después de haber sido, como lo hemos visto, precursor de JACOBI (véase) en el invento del principio mismo de la galvanoplastía. BRUGNATELLI (2), el amigo de VOLTA, merece sin duda ser recordado en la historia del dorado por la corriente, por un método que imaginó en 1802 pero que no tuvo aplicación práctica. El método de de la Rive no pudo tampoco ser adoptado de inmediato por la industria; pero poco le faltaba y bien pronto los ELKINGTON (3), RUOLZ (4),

(1) "Elogio de Augusto de la Rive" por DUMAS.

(2) LUIS GASPAR BRUGNATELLI (Pavía 1761-1818) químico italiano, es autor de una teoría de la combustión, complementaria de la de LAVOISIER.

(3) JORGE RICARDO ELKINGTON (Birmingham 1801-1865) químico inglés.

(4) EL CONDE ENRIQUE DE RUOLZ (París 1807-Neuilly 1877), doctor en derecho, en medicina y en ciencias, músico y autor de varias óperas, perfeccionó el método de ELKINGTON e inventó el acero fosforado en colaboración con su primo FONTENAY. Este sabio y gentilhombre, que pertenecía a una antigua familia de la nobleza francesa, vivió en la mayor pobreza.

y CHRISTOFLE (1) fundaron la importante industria del dorado y plateado galvanoplástico cuya historia pertenece a la evolución de las industrias y no de la física (2).

A. de la Rive es también autor del principio de la brújula de senos e inventor de las pilas de peróxido de plomo. Era miembro de la Sociedad Real de Londres y del Instituto de Francia. Fué no sólo un sabio de valer, un buen literato y un político honesto, sino también el fiel protector de la ciencia y el generoso amigo de los sabios. Su antigua casa, que desde más de cuatrocientos años era ocupada por su familia, estaba siempre abierta a todos los sabios, y HUMBOLDT, DAVY, FARADAY, ARAGO, AMPERE, recibieron allí una afectuosa hospitalidad.

MAGNUS
(1802-1870)

Osmosis. Tensión de vapor de mezclas. Dilatación de líquidos y gases. Termoelectricidad. "Efecto Magnus". Conductibilidad calorífica en los gases.

H. G. MAGNUS nació en Berlín en 1802 y murió en 1870 en la misma ciudad.

Este químico y físico fué durante un año ayudante de BERZELIUS en Estocolmo y luego profesor de química en Berlín y miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de París.

Su obra física es vasta, pues intervino en forma eficaz en la solución de numerosos problemas. Entre sus primeros trabajos, en 1827, se destaca su estudio de la ósmosis, fenómeno que hemos visto ser descubierto por NOLLET

---

(1) CARLOS CHRISTOFLE (París 1805 — Brunoy 1863). Industrial francés, inventor del "metal blanco".

(2) Léase la historia de la galvanoplastía en "Merveilles de la Science" por FIGUIER t. II. pág. 285-384.

(1748), estudiado por PARROT (1809-12) en vasos y láminas porosas, y por FISHER (1814) y CHEVREUL (1822) en membranas animales. Magnus, quien realizó sus investigaciones de ósmosis en el mismo año (1827) en que DUTROCHET realizaba sus conocidas experiencias e inventaba con tal fin su endosmómetro, hizo determinaciones muy exactas de la diferencia de presión producida por la endósmosis. Más adelante veremos que la ósmosis volverá a ser estudiada por experimentadores como JOLLY (1849), GRAHAM (1854), TRAUBE (1867) PFEFFER (1877) y VANT'HOFF (1886).

En 1836, Magnus se ocupó de la tensión del vapor saturado y de la tensión de vapores de varios líquidos (1). Fué BETANCOURT (1792) quien inició el estudio de la tensión de vapores de varios líquidos y DALTON (1803), que hizo la crítica de los resultados obtenidos por éste, llegó a la conclusión que la tensión del vapor de todos los líquidos es la misma a una misma distancia de su punto de ebullición (véase DALTON), conclusión cuya inexactitud fué demostrada por URE (1818). Después de DALTON, GAY-LUSSAC (1816) creyó poder asegurar que la tensión del vapor de una mezcla de líquidos es igual a la suma de las tensiones de los líquidos. Magnus (1836) aclaró que sólo podía admitirse esa igualdad para líquidos no miscibles, pero que en líquidos miscibles la tensión es menor que la suma y poco se aleja de la tensión del vapor del líquido más volátil. REGNAULT, de 1854 a 1860, comprobó esas conclusiones de Magnus.

En 1842, vemos a Magnus interesarse en el problema de la dilatación de los líquidos y de los gases. Hemos visto que AMONTONS (1703) y DULONG y PETIT (1816) estudiaron la irregularidad de la dilatación del agua y del mercurio respectivamente, pero hicieron este estudio a temperaturas inferiores a 100°, mientras que Magnus lo realizó para temperaturas mayores. Al ocuparnos de GAY-LUSSAC (véase) hemos recordado su estudio de la dilatación

(1) CHWOLSON t. VIII, p. 237.

de los gases casi simultáneo con el de DALTON (véase), y precedido por AMONTONS (1702), VOLTA, PRIESTLEY (1777), LAMBERT (1779), LA HIRE, SAUSSURE, etc...

Hemos mostrado que GAY-LUSSAC obtuvo para el aire el valor de 0'00375 coincidente con el de DALTON de 0'00373, pero que RUDBERG (1837) obtuvo de 0'003646. Magnus comprobó entonces los resultados de RUDBERG, encontró causas de error en los experimentos de GAY-LUSSAC (1) y estableció el valor de 0'003665 para el aire, valor comprobado por REGNAULT en el mismo año. Estos dos sabios demostraron además que los gases que se licúan fácilmente tienen un coeficiente de dilatación muy elevado.

En 1843, simultáneamente con REGNAULT (véase), Magnus hizo determinaciones de la tensión de los vapores saturantes de — 20° a + 110° obteniendo, con un aparato de su invento (2) resultados casi idénticos a los de REGNAULT, alcanzados por este por procedimientos distintos.

En 1851, Magnus se dedicó a la termoelectricidad siguiendo los estudios de SEEBECK y de BECQUEREL. Observó que la fuerza electromotriz termoeléctrica sólo depende de las temperaturas respectivas de las soldaduras y no de la repartición del calor en los metales (3).

En 1853, descubrió el "efecto Magnus" que consiste en lo siguiente: Si se hace girar un cilindro en una corriente de aire se observa una disminución de presión entre la izquierda y la derecha, y si el cilindro tiene un movimiento de traslación será desviado a la izquierda cuando gira hacia la derecha, y vice-versa. Magnus llegó a esta observación estudiando el problema planteado por EULER de la desviación de los proyectiles, problema que POISSON (1839) estudió sin mayores resultados y en el cual Magnus

(1) CHWOLSON t. VI. p. 150.
(2) CHWOLSON t. VIII. p. 17.
(3) CHWOLSON t. X. p. 296. GANOT p. 631.

estableció la influencia de las corrientes de aire por un movimiento de rotación y traslación. Este estudio de Magnus no tuvo mayor trascendencia, pero PRANDTL en su estudio de aerodinámica lo recogió y FLETTNER (1922) hizo experiencias con un barco en que, en lugar de vela, se utilizaba un cilindro de rotación para aprovechar el "efecto Magnus".

En 1861, Magnus inició, puede decirse, el estudio científico de la conductibilidad calorífica de los gases, en la cual fué seguido por CLAUSIUS (1862) desde el punto de vista de la teoría cinética de los gases, por NARR, y STEFAN (1871-72) y por WINKELMAN y BOLTZMANN (1875). En el mismo año, estudió el poder diatérmano de los gases y de los líquidos, y la polarización del calor, continuando así las investigaciones de MELLONI (véase).

WHEATSTONE
(1802-1875)

Kaleidófono. Espectro de la luz del arco voltaico. Teoría de vocales y figuras de CHLADNI. Telégrafo magnético. Telégrafo de cuadrante. El "relais". Telégrafo con cinta perforada. Reloj eléctrico. Puente de WHEATSTONE. Velocidad de la electricidad. Método de espejos giratorios. Pila de WHEATSTONE. Estereoscopio de reflexión. Fotómetro.

CARLOS WHEATSTONE nació en Glócester en 1802 y murió en París en 1875.

Hijo de comerciantes relativamente modestos, no hizo estudios completos y fué más bien casualmente que llegó a figurar en el mundo científico. El oficio que se había elegido era la fabricación de instrumentos musicales y fué así fabricante de guitarras, sucesivamente en Glócester y en Londres.

En esta última ciudad, Wheatstone publicó interesantes observaciones acerca del sonido, que deben ser consideradas como sus primeros pasos en el estudio de la física. Inventó en 1827, el "Kaleidófono" para hacer visibles las pequeñas vibraciones de una varilla sonora con un extremo fijo, vibraciones estudiadas teóricamente por EULER, POISSON, CAUCHY, y SEEBECK. Pero el "kaleidófono" de uso subjetivo fué reemplazado ventajosamente por los métodos objetivos imaginados por LISSAJOUS (véase).

De la acústica, Wheatstone pasó a la óptica y especialmente al estudio del espectro de llamas al cual se dedicaban a la sazón, como ya lo hemos visto: FRAUNHOFER, BREWSTER, J. HERSCHEL y TALBOT. Pero Wheatstone observó (1835) el espectro de la luz del arco voltaico con electrodos de distintos metales y él también pudo prever así, como TALBOT, la posibilidad de un método de análisis por las rayas claras características y fué así, como él, precursor del "análisis espectral" de KIRCHHOFF y BUNSEN (1).

Volvió de nuevo a la acústica con un estudio sobre las vocales (1837) y con una explicación elemental de las figuras de CHLADNI (2). En 1834, Wheatstone se había destacado ya tanto que fué elegido miembro de la Sociedad Real de Londres y catedrático de física del King's College.

"No hay", dijo DUMAS, "cuestión delicada de acústica, de óptica y sobre todo de electricidad que Wheatstone no haya estudiado y a la cual no haya traído grandes esclarecimientos". Fué, en efecto, la electricidad el estudio que más cautivó a Wheatstone y al cual se dedicó con preferencia.

En 1837, inventó en colaboración con COOK (3), un

(1) CHWOLSON t. IV. p. 110.

(2) CHWOLSON t. III. p. 139.

(3) GUILLERMO FOTHERGILL COOK (Talnig, Escocia, 1806-1879) era hijo de un profesor de la Universidad de Durham, y estudió en esa Universidad y en la de Edimburgo. De 1826 a 1835, ejerció la carrera militar en la India, luego volvió a Inglaterra, después de una estada en París y otra en Heidelberg, y se dedicó al estudio y a la enseñanza.

telégrafo magnético que fué adoptado inmediatamente en los ferrocarriles ingleses y que fué por consiguiente el primer telégrafo eléctrico que se instalara para el servicio público regular. Este telégrafo no era muy original; no era sino una de las tantas modificaciones de la idea de AMPERE, un aparato similar a los de SCHILLING o de GAUSS y WEBER, con varias agujas y circuitos completos, pues STEINHEIL no había descubierto todavía la inutilidad del hilo de vuelta.

Si Wheatstone se hubiese detenido allí es poco probable que sus compatriotas le hubiesen dado el nombre de "padre de la telegrafía", ya que el mérito de su primer invento es muy limitado.

En 1840, Wheatstone construyó, siempre en colaboración con COOK, un telégrafo de cuadrante de dos agujas que consistía principalmente en dos cuadrantes con aguja magnética y dos manijas que permitían dirigir la corriente hacia distintos puntos determinados de los cuadrantes, provocándose así desviaciones de las agujas que correspondían a las letras del alfabeto (1).

Como telégrafo de cuadrante, el de Wheatstone y COOK era casi perfecto y sólo puede ser comparado al similar de FOY-BREGUET que se empleaba en Francia; pero el grave defecto de estos aparatos era el de no ser inscriptores y de carecer así de una confirmación de los mensajes recibidos, debiendo atribuirse a ese inconveniente la poca duración del éxito de los telégrafos de cuadrante, que fueron reemplazados paulatinamente por el telégrafo de MORSE.

Aun en el aparato de MORSE, quedó un invento de Wheatstone, el "relais" o "refuerzo", que permite hacer funcionar los receptores con una corriente local cuando la corriente general viene muy debilitada por la larga distancia.

Además de estos inventos, debemos recordar el sistema

---

(1) Véase la historia de la telegrafía eléctrica en "Merveilles de la Science" de FIGUIER t. II. pág. 85-185.

Wheatstone de telégrafo MORSE con transmisión rápida por medio de cintas perforadas (1).

Wheatstone inventó, en 1840, los relojes eléctricos, pero fué precedido de un año por STEINHEIL quien, ya en 1839, había instalado relojes eléctricos en Baviera (2).

El "puente de Wheatstone" (3) es otro de sus inventos que no necesita ser descripto aquí por ser bien conocido, y cuya utilidad para la determinación de las resistencias eléctricas nadie ignora; pero debemos recordar que hemos visto anteriormente que S. CHRISTIE había precedido a Wheatstone en este invento (véase KIRHHOFF).

Los estudios de Wheatstone acerca de la telegrafía lo llevaron al estudio de la velocidad de la propagación de la electricidad en un conductor, cuestión que no había vuelto a ser tratada desde las experiencias del siglo XVIII, de LEMONNIER y WATSON. Wheatstone se propuso estudiar la velocidad de propagación y las causas que permiten retardar, detener o invertir esa propagación, utilizando para ello la descarga de una botella de Leyden y un hilo conductor de unos 66 metros cortado al medio y doblado de modo que sus extremidades, que llevaban esferas, estuvieran en línea recta cerca una de otra. Reunió una esfera con la armadura de la botella y otra con el interior, obteniendo tres chispas entre esferas y produciéndose la del centro con el retraso debido a la demora de la propagación en la mitad del hilo o sea en unos 33 metros. Para determinar esta demora, Wheatstone inventó el método de los espejos giratorios (4) que inspiró a ARAGO, a FOUCAULT y a FIZEAU para sus métodos de medida de la velocidad de la luz. Y DUMAS dice: "La duración de movimientos rápidos como el pensamiento, y aun más rápidos, es medida

(1) GANOT p. 848.
(2) FIGUIER obra citada t. II. p. 404-418.
(3) GANOT p. 653; CHWOLSON t. III. p. 241; Física de WATSON 674.
(4) GANOT p. 813.

pues, sin vacilación, por el método de los espejos giratorios o por procedimientos derivados de sus principios. Este método, que dará la inmortalidad a Sir Charles Wheatstone, señala una fecha y caracteriza una época en ese arte difícil de consultar la naturaleza, base sólida de la ciencia moderna".

El valor de la velocidad de propagación de la electricidad encontrado por Wheatstone, valor de 312.500 km. por segundo, y el valor de la duración de la descarga eléctrica de $0'42''10^{-4}$ h no son rigurosamente exactos. G. WEBER y KOHLRAUSCH volvieron a hacer determinaciones de la velocidad de la electricidad, pero estas adquirieron especial importancia cuando la teoría electromagnética de la luz de MAXWELL unificó la velocidad de la electricidad con la de la luz, velocidad máxima en la naturaleza.

En 1843, Wheatstone construyó una pila usando placas de amalgama de estaño y placas de platino en las cuales depositaba peróxido de plomo por electrólisis en una solución de acetato de plomo. Pero Wheatstone no tiene por ello, como se pretendió establecerlo, derecho al invento del acumulador que PLANTE, inventó en 1859, pues el sabio inglés jamás pensó en "cargar" este elemento para luego utilizar su "descarga".

Hemos visto ya cómo JACOBI (véase) estuvo más cerca de la solución al proponer el empleo de las "corrientes secundarias de larga duración" del voltámetro inventado por SINSTEDEN (1854), verdadero acumulador aunque su inventor no lo supiera.

Y ya que citamos a JACOBI, recordemos que hemos dicho que, en 1843, Wheatstone construyó un reóstato de JACOBI perfeccionado, que puede ser considerado como el primero de modelo moderno.

Cuando estudiemos el descubrimiento de ERNESTO WERNER SIEMENS (1866) del dínamo, citaremos aún el nombre de Wheatstone quien se ocupó de esta misma cuestión pero con cierta posterioridad (1867) que le quita todo derecho al respecto.

En óptica en fin, hemos hablado ya del estereoscopio de reflexión (5) de Wheatstone, que fué reemplazado por el de refracción de BREWSTER, más práctico y menos voluminoso; y podemos agregar a este aparato, el fotómetro de Wheatstone.

Wheatstone era miembro de la Sociedad Real de Londres y de la Academia de Ciencias de París, y, título de gloria también, era amigo íntimo de FARADAY.

COLLADON
(1802-1893)

Con STURM: Compresibilidad de los líquidos. Velocidad del sonido en el agua.
Con PREVOST: Magnetismo de rotación. Reflexión total en venas líquidas. La inducción. Perforadora de aire comprimido.

JUAN DANIEL COLLADON, nació en Ginebra en 1802 y murió en la misma ciudad en 1893.

Descendía de una antigua familia protestante francesa que, en el siglo XVI, había huído de su patria por temor a las persecuciones religiosas.

Daniel Colladon estudió en la Academia Científica de Ginebra y luego, siguiendo el deseo de su familia, empezó estudios de Derecho. La física era, sin embargo, su ciencia favorita y dedicaba a ella todos sus momentos libres. Fundó con varios amigos una pequeña sociedad científica donde cada socio debía relatar sus observaciones. En este cenáculo de jovenes estudiosos, donde acudieron también profesores y sabios, se oyeron memorias leídas por Colladon,

(5) GANOT p. 556. FIGUIER obra citada t. III. p. 191 y 196; véase biografía de BREWSTER.

STURM (1), DE CANDOLLE (2), PICTET (3), TEODORO DE SAUSSURE, J. L. PREVOST, J. B. DUMAS y otros.

Colladon tenía veinte y dos años cuando la Academia de Lila premió una memoria de la cual era autor "Sobre un fotómetro sensible". Al año siguiente, en colaboración con PREVOST, el joven físico realizó experimentos sobre el magnetismo de rotación recién descubierto por ARAGO (1824), demostrando que interponiendo una lámina de metal entre la aguja magnética y el disco que gira se disminuye o se anula su influencia.

En el mismo año de 1825, empezó con su amigo de la infancia STURM, experimentos sobre la compresibilidad de los líquidos, cuestión puesta a concurso por la Academia de París, y otros sobre la propagación del sonido en el agua. Estos experimentos fueron interrumpidos por la decisión del padre de Colladon de mandarlo, con su amigo STURM, a asistir a cursos universitarios en París. Este proyecto fué naturalmente aceptado con entusiasmo por los

---

(1) JACOBO CARLOS STURM (Ginebra 1803-París 1855). Fué amigo de la infancia de COLLADON. Pertenecía a una buena familia friburguesa completamente arruinada, que tenía en el joven Jacobo Carlos su único sostén. Desde 1823, empezó a enseñar y sabemos cómo, cuatro años más tarde, obtuvo con COLLADON el gran premio de la Academia de Ciencias de París. En 1829, enunció el célebre teorema de análisis que lleva su nombre y que aumentó considerablemente su celebridad. En 1834, la Academia de Ciencias volvió a premiar sus trabajos y, dos años más tarde, le abrió sus puertas para ofrecerle el asiento, vacío por la muerte AMPERE (1836). En 1838, fué nombrado repetidor de la Escuela Politécnica y, dos años después, reemplazó a POISSON en sus cátedras, tanto en esta escuela como en la Sorbona. Sus brillantes trabajos de matemáticas fueron los que elevaron a Sturm a estos y muchos otros honores científicos.

(2) ALFONSO DE CANDOLLE (París 1806-Ginebra 1893), hijo del célebre botánico francés PYRAMUS DE CANDOLLE (1778-1841) se ocupó como éste de botánica. Además de las numerosas obras que publicó sobre esta ciencia, se le debe una "Historia de las Ciencias y de los Sabios, desde hace dos siglos".

(3) Se trata aquí de MARCO AUGUSTO PICTET sabio literato suizo (Ginebra 1752-1825) discípulo de SAUSSURE, profesor de Filosofía, miembro fundador de la Sociedad de Física de Ginebra, corresponsal del Instituto de Francia, que no debe ser confundido con RAUL PICTET de quien hablamos en otra parte.

dos jóvenes, quienes pudieron así llevar ellos mismos a la Academia de Ciencias la descripción de sus trabajos.

En París, fueron acogidos inmediatamente en el ambiente científico en el que brillaban los ARAGO, DULONG, A. C. BECQUEREL, DUMAS, CORIOLIS, ELIAS DE BEAUMONT (1), FRESNEL, SAVART y AMPERE de quien Colladon fué ayudante en el gabinete del Colegio de Francia.

La Academia de Ciencias consideró con interés la memoria de los dos jóvenes suizos, pero les aconsejó prosiguieran los experimentos, postergando su decisión hasta el año siguiente. Colladon volvió sólo a Suiza donde continuó los experimentos sobre la propagación del sonido en el agua, en la casa del sabio PYRAMUS DE CANDOLLE, al borde del lago Leman y ayudado por ALFONSO DE CANDOLLE.

En un principio, el método seguido fué bastante deficiente: uno de los observadores se alejaba en un barco provisto de una campana sumergida y el otro, que era Colladon, colocado a cierta distancia, hundía la cabeza debajo del agua para oir el golpe de campana y avisaba con un gesto al primer observador de la percepción del sonido.

Este experimento fué notablemente perfeccionado del modo siguiente: Dispusieron dos botes a una distancia de 13.487 o sea en los bordes más apartados del lago. De uno de los barcos colgaba una campana y del otro una trompa acústica. Al golpearse la campana se encendía automáticamente una cierta cantidad de pólvora en el puente del primer barco, de modo que el observador colocado en el segundo observaba con un cronómetro el momento de emisión del sonido y el de percepción. Colladon estableció así que el sonido se propaga con una velocidad de 1.435 metros por segundo en el agua a la temperatura de 8°1.

Como lo hemos visto anteriormente el problema de la propagación del sonido en los líquidos había sido planteado por el ABATE NOLLET que afirmó que tal propagación

(1) ELIAS DE BEAUMONT 1798-1874. Gran geólogo francés.

era posible. PEROLLE demostró que el sonido se propaga a mayor distancia en los líquidos que en el aire, y POISSON (1818) y LAPLACE (1821) hicieron el estudio analítico de dicha propagación. En 1820, BEUDANT (1) había hecho una determinación de la velocidad del sonido en el agua de mar, obteniendo el valor de 1.500 mts. por segundo. Es injusto olvidar este experimento, decisivo como el experimento de Colladon y STURM. Hemos visto también que CAGNIARD DE LA TOUR (1835) hizo la misma determinación por medio de vibraciones en una columna de agua, procedimiento que fué también adoptado por WERTHEIM (1849).

Los experimentos de Colladon y STURM sobre la compresibilidad de los líquidos se encuentran ampliamente descriptos en la mayor parte de los textos de física y no es necesario relatarlos nuevamente aquí. (2) Sólo recordaremos que corrigen el error de OERSTED (1822) que consistía en no tener en cuenta la variación de capacidad del piezómetro, pero en la evaluación de esta variación cometieron a su vez pequeños errores, que fueron coregidos con los métodos imaginados po REGNAULT, en 1848.

En 1827, la Academia de Ciencias decidió premiar a Colladon y STURM por los experimentos que acabamos de citar. En 1831, Colladon fué nombrado profesor de mecánica en la Escuela Central de Artes y Manufacturas en reemplazo de CORIOLIS, que pasaba a la dirección de la Escuela Politécnica. En 1841, volvió a su ciudad natal donde había sido nombrado profesor de la Universidad y miembro del Consejo Municipal.

Es allí que Colladon realizó sus interesantes experimentos sobre la reflexión total de la luz en venas líquidas

(1) FRANCISCO BEUDANT. París 1787-1852. Fué profesor de matemáticas y física, pero se hizo célebre por sus estudios de mineralogía que lo hicieron entrar en la Academia en 1824. Fué uno de los jefes de las Escuelas de "minerálogos-químicos" que, después de la muerte de HAUY, en 1822, encabezaron una reacción contra la "mineralogía cristalográfica" establecida por éste.

(2) Véase CHWOLSON t. II. p. 169 y siguientes.

parabólicas, fenómeno que tuvo una ingeniosa aplicación en "fuentes luminosas" como conocimos algunas en plazas y parques de Montevideo. La primera de estas fuentes de hermoso efecto fué inventada y construída por el sabio constructor GUSTAVO TROUVE (1) y fué instalada en la Exposición Universal de París en 1899.

En electricidad, Colladon estuvo muy cerca de descubrir la inducción antes que FARADAY, como ya hemos tenido ocasión de decirlo (véase FARADAY). Se ocupó mucho de los pararrayos y, en 1872, publicó una interesante memoria acerca de los "Efectos del Rayo sobre los Arboles" (2).

En mecánica, se interesó en la construcción de barcos de vapor y contribuyó grandemente a la perforación de varios túneles por su invento de la perforadora de aire comprimido (3).

Desde 1876, Colladon era corresponsal de la Academia de Ciencias de París en cuyos anales se conservan muchas memorias del gran experimentador e ingeniero suizo.

---

(1) GUSTAVO TROUVE (La Haye-Descartes 1839-París 1902), constructor de aparatos, construyó dos célebres modelos de giroscopios eléctricos en 1865 y en 1890.

(2) Année Scientifique. 1873. pág. 60.

(3) Véase GANOT pág. 174.

DOPPLER
(1803-1853)

El "principio de DOPPLER".

CRISTIAN DOPPLER nació en Salzburgo (Austria) en 1803 y murió en Venecia, en 1853.

Después de terminar sus estudios secundarios en su ciudad natal, Doppler estudió en la Universidad y en la Escuela Politécnica de Viena, ciudad en la cual se dedicó luego a la enseñanza. Más tarde, ocupó cátedras en Praga y en Chemnitz para volver a Viena, en 1848.

Doppler fué muy célebre como matemático y gozó en su patria de grandes honores académicos; pero lo que inmortalizó su nombre fué su descubrimiento del "principio de Doppler", aplicable a la óptica tanto como a la acústica (1), descubrimiento que realizó en 1842.

En acústica: todo movimiento de un observador o de una fuente sonora que produzca el acercamiento entre ellos, se traduce por una elevación aparente del sonido y esta elevación es mayor cuando la fuente es la que se mueve. Si el movimiento aleja la fuente sonora del observador, se percibe un descenso del sonido y este descenso es mayor si es el observador el que se mueve.

Este interesante fenómeno fué comprobado con valiosos experimentos, por el inglés SCOTT RUSSEL y por el holandés BUYS BALLOT (2), en 1845.

En óptica: un acercamiento entre la fuente luminosa y el observador producirá también un aumento del número de ondas percibidas en la unidad de tiempo y por consiguiente el espectroscopio hará notar una desviación de las rayas hacia el violado. Un alejamiento producirá el efecto opuesto.

---

(1) GANOT pág. 374 y 539. CHWOLSON t. I. pág. 200. t. III. pág. 186. WATSON pág. 375.

(2) CRISTOBAL BUYS-BALLOT (Kloetingen 1817-Utrecht 1890), profesor de la Universidad de Utrecht y director del Instituto Meteorológico, se ocupó de óptica, de acústica y especialmente de meteorología, a la cual dejó los principios que conservan su nombre. (GANOT, pág. 897-8).

Los dos fenómenos, acústico y óptico, pueden ser expresados por la fórmula:

$$n_1 = n \frac{V + u}{V - u'}$$

en que (n_1) es el número de ondas percibidas por unidad de tiempo, (n) el número de ondas producidas en la misma unidad por la fuente, (V) la velocidad de propagación de la vibración, (u) la velocidad del observador y (u') la velocidad de la fuente.

El "efecto Doppler" tiene gran importancia en astrofísica pues su mismo descubridor ya afirmó que el color de una estrella tiende hacia el color azul cuando la estrella se acerca, y tiende hacia el rojo cuando se aleja. Propuso asimismo la aplicación de esta observación a la medida de la distancia de las estrellas dobles (1847), método que fué aplicado sin resultado por varios observadores y por él mismo. La aplicación del principio está relacionada en fin con el problema del movimiento o de la inmovilidad del éter (véase FRESNEL), problema de gran interés en las teorías modernas y especialmente en la teoría de la relatividad.

LIBRI
(1803-1869)

Historia de Ciencias.

GUILLERMO BRUTO ICILIO TIMOLEON CONDE LIBRI-CARUCCI, matemático e historiador de ciencias, nació en Florencia en 1803 y murió en su ciudad natal en 1869.

Era hijo del Conde Libri-Bagnano, de ilustre familia toscana, refugiado en Francia y condenado en ese país a diez años de trabajos forzados por estafa.

Guillermo Libri fué, como su padre, expulsado de Italia por cuestiones políticas y, como él, se refugió en el país vecino y cometió en él actos deshonestos. Se hizo amigo de ARAGO, que lo nombró su sustituto en el Colegio de Francia (1832); se naturalizó francés; fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias (1833) en reemplazo de LEGENDRE; fué profesor en la Sorbona, miembro del Consejo Académico de París y oficial de la Legión de Honor.

El "sabio" merecía con toda justicia esos cargos y esos títulos honoríficos por su vasta obra matemática, histórica y literaria; pero la falta de honestidad del "hombre" se los hizo perder. Después de 1848, el gobierno republicano encontró, archivada, una acusación contra Libri por el robo de manuscritos de las bibliotecas públicas, avaluados en medio millón de francos, acusación a la cual Guizot, ministro de Luis Felipe, no había dado curso para evitar el escándalo. El gobierno republicano no participó de este temor y condenó por contumacia al profesor y académico Libri, que había huído a Inglaterra, a diez años de reclusión, a la degradación como oficial de la Legión de Honor y a la pérdida de todos sus cargos.

Libri pasó varios años en Inglaterra, luego volvió a su patria donde se enriqueció con la compra y venta de libros. Su apellido mismo parece haberlo destinado a vivir de los libros, y lo hizo ya escribiéndolos, ya traficándolos, ya robándolos.

Su erudita "Historia de las ciencias matemáticas en Italia desde el Renacimiento hasta fines del siglo XVII" ha sido una de las buenas obras de referencia que hemos utilizado para la redacción de esta obra, y su hermoso prefacio de alto valor moral no hace suponer por cierto las fallas morales de su sabio autor.

RUHMKORFF
(1803-1877)

El carrete RUHMKORFF, perfeccionamiento del invento de MASSON.

ENRIQUE DANIEL RUHMKORFF nació en Hannover en 1803 y murió en París en 1877.

De modesto origen y de educación muy elemental, Ruhmkorff vino joven a París en busca de trabajo. Aprendió el oficio de constructor en varios talleres de instrumentos de precisión en París y en Londres, pero el que más contribuyó a su preparación en esta clase de trabajo fué el célebre taller de CHEVALIER, en la primera de esas ciudades.

La extraordinaria habilidad del joven constructor le mereció la consideración de sus patrones y cuando, a fuerza de economía, pudo instalarse por su cuenta, la casa Ruhmkorff no tardó en adquirir una merecida fama.

Ruhmkorff construyó toda clase de aparatos científicos, pero se especializó en aparatos electromagnéticos. En 1851, construyó el "carrete de Ruhmkorff", aquel célebre aparato que por primera vez permitía obtener, con la corriente de una pila, efectos semejantes a los que producen las máquinas electroestáticas. Hemos dicho que el hábil artista "construyó" el carrete que lleva su nombre y no que lo haya "inventado", pues cometeríamos así una injusticia a su favor y en perjuicio de hombres de indiscutible superioridad científica.

Fué el físcio francés MASSON (1) quien, el primero, quiso utilizar una corriente inducida por una corriente inductora frecuentemente interrumpida, y llegó a este resultado haciendo frotar los dientes de una rueda dentada sobre uno de los hilos de la pila, a su entrada en el circuito inductor. En 1848, MASSON y BREGUET perfeccionaron

(1) ANTONIO MASSON (Auxonne 1806 — París 1858) fué profesor en la Escuela Central. Además de sus trabajos de electricidad, hemos citado su nombre por sus estudios del calor radiante.

la máquina y llegaron a cargar con ella un condensador. A los nombres de MASSON y de BREGUET deben agregarse aún los de DE LA RIVE, FOUCAULT y FIZEAU como cooperadores de Ruhmkorff en la construcción del aparato perfeccionado, pues DE LA RIVE tuvo el primero la idea del conmutador, FOUCAULT inventó un interruptor electromagnético y FIZEAU inventó el condensador de hojas de estaño que lleva su nombre (1).

Napoleón III, queriendo continuar una iniciativa de Napoleón I, instituyó en 1852, un premio de 50.000 francos al autor de un descubrimiento que aumentara la utilidad de la pila de Volta. En 1863, se clausuró este concurso y el premio fué otorgado a Ruhmkorff, por una comisión de sabios que designó a DUMAS como miembro informante. Del informe que presentó este sabio citaremos el trozo siguiente:

> "Es justo y necesario agregar que estas bellas
> "aplicaciones de la electricidad no hubieran pasado a
> "la práctica si el señor Ruhmkorff no hubiese traído
> "a la construcción del importante aparato de induc-
> "ción que las hace posibles, las felices modificaciones
> "y la sabia ejecución que han decidido a los físicos
> "agradecidos y de común acuerdo, a dar el nombre de
> "este hábil artista al instrumento que tanto ha per-
> "feccionado" (2).

Debe agregarse que Ruhmkorff ha construído también un interesante instrumento para el estudio de la polarización rotatoria magnética, descubierta por FARADAY, y ha perfeccionado sensiblemente la máquina de HOLTZ.

Ruhmkorff no fué verdaderamente un sabio, pero su obra útil merece ser recordada por la historia de la física, pues, como lo dice Dumas: "Modesto en su vida, de una perseverancia inagotable, de una abnegación que le ha me-

(1) GANOT pág. 726.
(2) FIGUIER "Merveilles de la Science" t. I. pág. 727 y sgts.

recido las más altas pruebas de estima, quedará como un tipo, digno de servir de modelo a los numerosos e inteligentes obreros de los talleres de precisión..."

BREGUET
ABRAHAM (1747-1823)
LUIS (1804-1883)
ANTONIO (1851-1882)

LOUIS BREGUET: El telégrafo de cuadrante Foy-Bréguet. Pararrayo del telégrafo. Telégrafo impresor. Propagación del sonido en los sólidos.

La familia de los Breguet, célebre por los ingeniosos mecánicos que ha dado a Francia, era una de las tantas familias francesas que se habían refugiado en Suiza después de la revocación del Edicto de Nantes (1685).

Es así que ABRAHAM BREGUET nació en Suiza, en Neufchatel, en 1747, pero volvió a Francia y murió en París en 1823.

Este Abraham Breguet era hijo de un conocido relojero y fabricante de instrumentos de precisión. Instaló en París un taller que no tardó en ser un útil auxiliar de las instituciones científicas, por la competencia de su director. De allí salieron "relojes perpetuos", termómetros metálicos, cronómetros, péndulos simpáticos, el famoso telégrafo de CHAPPE y otro imaginado por Breguet mismo, así como una infinidad de otros instrumentos que todavía se usan en los gabinetes.

Abraham Breguet tuvo digno sucesor en su nieto: LUIS BREGUET, que nació en París en 1801 y murió en 1883.

Luis Breguet fué educado desde la infancia hacia el fin que su vida debía llevar. Mientras era aprendiz relojero y se iniciaba en el trabajo manual, seguía cursos de física y de mecánica en la Escuela Politécnica para adquirir amplios conocimientos científicos. Después de esta preparación

completa, su padre lo consideró apto para tomar la dirección del taller.

Luis Breguet construyó el famoso espejo giratorio imaginado por ARAGO para medir la velocidad de propagación de la luz, y otro, más rápido aún (9.000 vueltas por segundo), el que empleó FOUCAULT. Fué colaborador de MASSON en la construcción del carrete de inducción que RUHMKORFF perfeccionó. GRAMME encontró en él, un amigo; GRAHAM BELL y JABLOCHKOFF también necesitaron su ayuda para la realización de los inventos que los hicieron célebres.

Luis Breguet fué sobre todo el principial iniciador de la telegrafía eléctrica en Francia. Inventó y construyó el famoso telégrafo de cuadrante FOY-BREGUET, que recuerda también el nombre de ANTONIO FOY, a pesar de que éste no haya colaborado a su invento, pero sólo haya encargado a Breguet su construcción. Fué FOY quien exigió del constructor que el nuevo aparato reprodujera las señales del telégrafo CHAPPE y, por esta razón, el receptor del telégrafo Foy-Breguet está formado por dos agujas en forma de barras que reproducen las posiciones de los brazos articulados del telégrafo óptico. Breguet perfeccionó después este aparato (1) e inventó también el pararrayo para telégrafo y un telégrafo impresor; todo lo cual permite indiscutiblemente colocar su nombre al lado de los de MORSE y de WHEATSTONE en la historia de la telegrafía (2).

En 1851, Breguet realizó con WERTHEIM, interesantes experimentos sobre la velocidad del sonido en hilos de telégrafo; pero no obtuvieron resultados satisfactorios.

El hijo de Luis Breguet, ANTONIO BREGUET, que nació en 1851, prometía ser el digno continuador de la obra de su padre, de su abuelo y de su bisabuelo, cuando murió víctima del exceso de estudio, en 1882, pocos meses antes que su padre.

(1) GANOT pág. 842.
(2) Véase las biografías de MORSE y de WHEATSTONE.

Tenía apenas 31 años y ya era conocido como sabio. Un anemómetro eléctrico, la teoría matemática y serios perfeccionamientos de la máquina de GRAMME, el teléfono de mercurio, varios perfeccionamientos de los teléfonos, su brillante actuación como director de la "Revue Scientifique" y como organizador de la Exposición de la Electricidad de París en 1881 eran verdaderos méritos científicos y toda una promesa para el futuro.

LENZ
(1804-1885)

Ley de Lenz. Enfriamiento por "efecto de Peltier". Medidas electromagnéticas. Leyes de polarización electrolítica. Ley de Joule-Lenz.

ENRIQUE FEDERICO LENZ nació en Dorpat (Livonia) en 1804 y murió en Roma en 1885, en el curso de un viaje por Italia.

Estudió teología, pero dejó este estudio para acompañar a Otón Kotzebue en su segunda vuelta del mundo. A su regreso de este largo viaje fué nombrado profesor de física en la Universidad de San Petersburgo y preceptor de los hijos del Czar Nicolás.

La "Ley de Lenz" (1) es indudablemente la obra más conocida de este físico ruso; pero no por esto deben callarse sus demás trabajos científicos como lo hacen varios autores, y menos aún recordando que la "ley de Lenz" no fué el fruto de un trabajo absolutamente original pues hemos visto que ARAGO ya había enunciado la misma ley sin emplear el concepto de "inducción", que FARADAY no había introducido aún en la ciencia.

Cuando afirman pues, que "El sentido de la corriente inducida es tal que tiende a oponerse a la causa que lo engendra", Lenz no estableció una ley nueva sino que tra-

---

(1) CHWOLSON t. XII. pág. 42; GANOT pág. 687.

dujo una idea de ARAGO en palabras modernas.

Hemos visto ya (véase PELTIER) que, en 1838, Lenz reprodujo las experiencias de PELTIER y logró congelar agua debido a la absorción de calor de la corriente.

De 1838 a 1844, Lenz hizo un estudio profundo de la polarización electrolítica y descubrió sus principales leyes (1). Demostró que la polarización aumenta con la corriente polarizante; pero sólo hasta un cierto límite que depende de la naturaleza del electrodo y del gas que en él se forma. Demostró también que la polarización inicial disminuye si se reemplaza uno de los electrodos polarizados por otro no polarizado de la manera siguiente: Si (e) es la polarización inicial, (e_1) la polarización de un electrodo nuevo, tenemos $e > e_1$; si ahora reemplazamos el otro electrodo inicial por otro no polarizado, la polarización será (e_2) y tendremos:

$$e = e_1 + e_2$$

Hemos dicho ya en otra parte, que FECHNER (1831), POGGENDORFF (1841) y CROVA se ocuparon de la misma cuestión y en la misma época que Lenz y hemos señalado la larga evolución de esta cuestión con GAUTHEROT (1802), RITTER, BRUGNATELLI, GROTTHUS, DAVY, ERMANN, OHM, SCHONBEIN, etc...

En 1844, Lenz estudió con especial atención los fenómenos térmicos en los circuitos cerrados y llegó a la conclusión de que el calor de un circuito cerrado es proporcio nal al cuadrado de la intensidad de la corriente, a la resisten cia que opone a su paso y al tiempo, y observó que, disminuyendo la temperatura de un conductor, disminuye la resistencia.

La primera parte de esta ley ya había sido enunciada en 1841, por JOULE, había sido estudiada por EDMUN DO BECQUEREL en 1843 y debía ser demostrada teóri

(1) CHWOLSON t. X. pág. 213.

camente por CLAUSIUS en 1852. CHWOLSON la llama "ley de Joule-Lenz" (1) y conserva el nombre de "calor de Joule" a la energía calorífica desarrollada de acuerdo con dicha ley. Hemos visto también que DAVY fué quien inició el estudio del calor de la corriente y que OHM y FECHNER consideraban este calor proporcional a la intensidad de la corriente.

WEBER
(1804-1891)

Teoría de las ondas. Elasticidad retardada. Telégrafo Gauss-Weber. Teoría electrodinámica. Ley fundamental de Weber. El átomo eléctrico, precursor de la teoría electrónica. Comprobación de las leyes de AMPERE. Diamagnetismo y paramagnetismo. Unidades electromagnéticas. El "weber". Conducción calorífica en líquidos. Péndulo reversible.

GUILLERMO-EDUARDO WEBER, célebre físico-matemático alemán, nació en Wittenberg en 1804 y murió en Gotinga en 1891. Era hijo de un conocido teólogo, Miguel Weber.

Empezó sus primeros estudios científicos en colaboración con su hermano mayor el célebre fisiólogo ERNESTO ENRIQUE WEBER (2). En 1825, los dos hermanos publicaron su primera obra, en Leipzig, con el título de: "Teoría de las ondas". Este trabajo era un análisis minucioso de la propagación de las ondas sonoras y líquidas, un estudio

---

(1) CHWOLSON t. X. pág. 184 y sgts.

(2) E. E. WEBER (Wittemberg 1795 — Leipzig 1878). Se ocupó casi exclusivamente de fisiología; fué nombrado profesor extraordinario en Halle (1828), profesor titular en Gotinga (1831) y profesor de Anatomía y fisiología en la Universidad de Leipzig (1849). EDUARDO FEDERICO otro de sus hermanos, fué también fisiólogo.

pesado y profundo, verdadera obra de teóricos alemanes. No faltaba en ella, sin embargo, la parte experimental y las observaciones se referían a las ondas líquidas, a las olas en particular.



G. WEBER

El estudio del movimiento ondulatorio, ya con las ondas sonoras ya con las ondas líquidas, es tan antiguo como la ciencia misma. Sobre las ondas acuáticas pueden citarse ideas de ARISTÓTELES y PLINIO en la antigüedad, y los trabajos de NEWTON (1687), DANIEL BERNOULLI (1738), EULER (1778), LAPLACE (1779), LAGRANGE (1786), FLAUGERGUES (1793), GERSTNER (1802), CAUCHY (1815), POISSON (1816), en los tiempos modernos del desarrollo europeo. Después del estudio citado de los hermanos Weber, el problema fué estudiado por FARADAY (1832), KUNDT (1870), LISSAJOUS (1868), KELVIN (1871), MATTHIESEN (1887),

HELMHOLTZ (1890) (1). Este trabajo de los hermanos Weber significó en muchos puntos la comprobación de las célebres investigaciones de EULER sobre el movimiento ondulatorio en general y la vibración de cuerdas en particular. La interferencia de ondas acuáticas fué también detenidamente estudiada por los hermanos Weber, que la relacionaron con el estudio de la interferencia del sonido. Allí también se encuentra el estudio de la resonancia por comunicación de vibraciones del cuerpo sonoro a otros cuerpos y por nacimiento de una nueva vibración en un medio elástico, siendo este estudio precursor de las investigaciones de HELMHOLTZ.

En la fecha de la publicación de esta obra de los hermanos Weber, que tuvo gran resonancia, Guillermo era todavía estudiante en la Universidad de Halle y sólo contaba 21 años.

Dos años más tarde, en 1827, Weber fué nombrado profesor ayudante de esa misma Universidad donde supo atraer la atención de HUMBOLDT el incansable protector de los sabios.

En 1830, prosiguiendo el estudio de las ondas, imaginó registrar las vibraciones del diapasón en un cristal cubierto de negro de humo; DUHAMEL lo hizo, en 1840, con un tambor rotativo. No olvidemos que, en 1827, WHEATSTONE había inventado su "Kaleidófono", que LISSAJOUS imaginó sus métodos en 1857 y LEON SCOTT inventó el "fonautógrafo" en 1856.

En 1831, fué nombrado profesor de física de la Universidad de Gotinga y conservó este puesto hasta el fin de su vida con una interrupción de doce años (1837-1849) en que fué alejado de la Universidad por haberse ocupado de política, y pasó los cuatro últimos años de esta disponibilidad como profesor de la Universidad de Leipzig (1841-1849).

Desde su llegada a Gotinga en 1831, Weber conoció a GAUSS, quien era director del Observatorio, y se volvió su inseparable amigo a pesar de la diferencia de edad que

(1) Véase HOPPE, "Hist. de la Physique", pág. 163-170.

separaba a los dos sabios ya que GAUSS tenía 27 años más que WEBER.

La colaboración de GAUSS y Weber fué fecunda para la electricidad matemática y el magnetismo terrestre (véase GAUSS).

Para estudiar las variaciones del magnetismo terrestre los dos amigos imaginaron organizar una vasta asociación de los directores de todos los observatorios; y Weber publicó anualmente un resumen de las observaciones y deducciones alcanzadas.

En 1835, Weber, estudiando la elasticidad, observó por primera vez, el fenómeno de la "elasticidad retardada". Vió que si se cuelgan pesas de un hilo de seda, éste se alarga primero cierta cantidad en pocos segundos; luego, durante unas 6 horas, sigue alargándose lentamente; suprimiendo entonces las pesas, el hilo se acorta de nuevo en pocos segundos, pero no vuelve a su longitud anterior a pesar de que su acortamiento continúa durante unos veinte días (1). Weber atribuyó este fenómeno a una causa atomística: la rotación de las partículas elementales alrededor de su centro de gravedad. Este concepto de relación entre la causa de la elasticidad y la constitución íntima de la materia es el más admitido actualmente aunque no exactamente como lo precisara Weber. En 1839, hizo la teoría completa de la "inducción unipolar" que fué el último descubrimiento que sobre inducción realizara FARADAY (1832). Al año siguiente (1840), dió la teoría de la brújula de tangentes de POUILLET, determinando con precisión las condiciones en las cuales es exacta la proporcionalidad entre la intensidad de la corriente y la tangente del ángulo de desviación de la aguja.

En 1844, GAUSS y Weber instalaron un telégrafo eléctrico entre sus casas, y éste es considerado como el primer telégrafo que haya sido empleado con fin práctico (véase Gauss).

---

(1) CHWOLSON t. II. pág. 426.

De 1846, en Leipzig, hasta 1871, en Gotinga, Weber publicó numerosas memorias en que expuso su célebre teoría de la electrodinámica.

Esta teoría matemática de la electrodinámica (1) de Weber tiene por base una ley, derivada de las leyes estáticas de COULOMB, que establece las acciones mutuas de partículas eléctricas que se mueven libremente en los conductores. Esta ley fundamental comprende a las leyes de AMPERE sobre acción mutua de las corrientes y de FARADAY sobre la inducción (2); supone la existencia de dos electricidades de velocidades iguales y opuestas, y reduce la acción mutua de dos elementos a una fuerza única en la dirección de la recta que los une.

En los trabajos relacionados con esta teoría, Weber emitió la idea de que la corriente eléctrica puede ser debida al transporte de pequeñas partículas eléctricas y esta idea lo puede hacer considerar como uno de los iniciadores de la teoría electrónica (3). Este concepto u otros similares sobre la constitución atomística de la electricidad se encuentran desde 1880 a 1894, o sea hasta la fecha en que STONEY introdujo el término de "electrón", en los trabajos de LORENTZ (1880), ARRHENIUS (1887), ELSTER y GEITEL (1888), GIESE (1889), HELMHOLTZ, J. J. THOMSON, etc. (véase LORENTZ).

La teoría de Weber tuvo una enorme resonancia y fué causa de importantes discusiones científicas, especialmente en Alemania, con FRANZ NEUMANN (1847), RIEMANN (1858), HANKEL (1865), HELMHOLTZ (1870) y CARLOS NEUMANN (1871); pero su valor ha sido considerablemente disminuído por los trabajos de HELMHOLTZ, de MAXWELL (1873) y de CLAUSIUS.

Weber fué el primero en buscar una comprobación experimental de las leyes de AMPERE sobre acción mu-

---

(1) CHWOLSON, t. XI, pág. 382; BORDEAUX, "Histoire des Sciences au XIX[e] siècle" págs. 97-103.

(2) CHWOLSON, t. XII, págs. 44-49; HOPPE, "Hist. de la Phys", págs. 577-584 y 590-592.

(3) GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", t. II, pág. 62; HOPPE, obra cit. pág. 637.

tua de las corrientes y con tal fin construyó el electrodinamómetro (1).

Estudió del mismo modo, o sea matemática y experimentalmente a la vez, el diagmagnetismo y el paramagnetismo (2) fenómenos de los cuales hemos hablado con BRUGMANS (1778), BECQUEREL (1827) y FARADAY (1852). Imaginó varios aparatos, y entre ellos el "diamagnetómetro", aparatos que le permitieron observar que un cuerpo diamagnético colocado en un campo magnético tiene la polaridad de un cuerpo paramagnético en las mismas condiciones. Weber explicó entonces en su teoría que las partículas de las substancias diamagnéticas colocadas en un campo magnético no están rodeadas por corrientes moleculares, como lo supone la teoría de AMPERE, sino por corrientes inducidas. Esta teoría ha inspirado a muchos autores de teorías modernas.

Otro aspecto sumamente importante de la obra de Weber es el valor que dió a las medidas absolutas en el estudio de los fenómenos eléctricos (3). Se adoptaron sus medidas en Alemania y se dió el nombre de "weber" a la unidad de intensidad de corriente determinada por sus efectos electromagnéticos y comparada a las unidades mecánicas de GAUSS (milímetro, miligramo masa, segundo de tiempo mediano). La Asociación Británica prefirió las unidades centímetro, gramo masa, segundo (C.G.S.); pero conservó el nombre de "Weber" a la unidad de intensidad. En 1881, el Congreso Internacional de París aceptó las medidas propuestas por la Asociación Británica, pero dió el nombre de "Ampere" a la unidad de intensidad (véase GAUSS y KELVIN).

Weber ha colaborado con R. KOHLRAUSCH en determinaciones de la velocidad de la electricidad (1857), y deben citarse todavía los experimentos de Weber sobre conduc-

---

(1) CHWOLSON, t. XI, pág. 386.
(2) CHWOLSON t. XI. pág. 446-448. Hoppe obra cit. pág. 587-590.
(3) BORDEAUX, obra citada, págs. 103-104; HOPPE, obra citada, pág. 584.

tibilidad calorífica de los líquidos (1) y su invento de un monocardio, de un fotómetro de superficies (2), de un magnetómetro bifilar, de un "inclinador de inducción", de un "inductor de rotación", etc.

El último trabajo de Weber, en 1884, trataba del empleo del péndulo de reversión para constituir un péndulo de segundos.

En biología se recuerda, además, su "Mecánica de los Rodajes de la Máquina Humana" escrita en colaboración con su hermano menor EDUARDO FEDERICO.

HAMILTON
(1805-1865)

Principio de Hamilton. La refracción cónica.

GUILLERMO ROWAN HAMILTON, célebre matemático irlandés, nació en Dublín en 1805 y murió en la misma ciudad en 1865.

Hijo de un abogado de origen escocés, el joven Hamilton demostró tener una precocidad extraordinaria, pues a los siete años conocía el hebreo y, a los trece, poseía trece idiomas distintos.

Su preparación matemática ha sido su propia obra y Hamilton debe ser considerado como un autodidacta a pesar de la esmerada educación que recibió en el Colegio de la Trinidad de Dublín.

A los veintidos años, siendo todavía alumno de ese establecimiento, fué llamado a ocupar la cátedra de Astronomía de la Universidad de Dublin, A los treinta, fué ennoblecido por el rey de Inglaterra, Guillermo IV y, dos años

---

(1) CHWOLSON t. VI pág. 361.
(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 254.

más tarde, fué nombrado Presidente de la Academia Real de Irlanda y miembro corresponsal de la Academia de San Petersburgo.

En mecánica matemática, el nombre de Hamilton está unido al principio que él llamó "ley de acción variable" pero que es llamado comunmente "principio de Hamilton" y fué establecido por este sabio, en el año 1834, como una deducción y ampliación del "principio de la menor acción" de MAUPERTUIS, desarrollada por EULER y LAGRANGE, y el "principio de D'ALEMBERT". Algunos autores lo llaman "principio de Jacobi-Hamilton" por haber sido JACOBI quien demostrara toda su importancia como principio fundamental de mecánica (1842), como lo hiciera más tarde HELMHOLTZ (1886), quien fundaba en él la teoría de todos los fenómenos irreversibles.

Los principales trabajos de Hamilton pertenecen como ese principio, a las matemáticas superiores, pero uno de ellos tiene un interés especial en óptica. Es una pequeña nota titulada "Caustics" que publicó en 1823 y que contiene ciertas correcciones de las demostraciones matemáticas de LAPLACE. Esta nota fué reeditada y considerablemente aumentada, apareciendo bajo el nuevo título de "Teoría de Sistemas de Rayos".

Sin experiencia alguna, por simple cálculo matemático, derivado de la teoría de FRESNEL a la cual trajo una magnífica comprobación, Hamilton afirmó que en algunos casos un rayo que atraviesa un cristal biáxico, no puede dividirse ni permanecer simple, pero debe tomar una forma cónica. Esta maravillosa previsión teórica de la "refracción cónica" fué confirmada por los experimentos de LLOYD (1) quien descubrió el fenómeno en el aragonito (1833) (2).

(1) HUMPHREY LLOYD (Dublín 1800-1881). Era miembro de la Sociedad Real de Londres y Director del Observatorio de Dublín.
Se especializó en el estudio de la doble refracción cónica.

(2) CHWOLSON. t. V. pág. 136. BORDEAUX "Hist. des Sciences au XIX siècle", pág. 268.

Debemos agregar en fin, que la modernísima "mecánica ondulatoria" de LUIS DE BROGLIE (n. en 1892) está basada en la analogía entre la materia y la radiación ya prevista por Hamilton y está basada además en los conceptos mecánicos de este sabio.

GRAHAM
(1805-1869)

Difusión de gases y líquidos. Ley de la velocidad de la difusión de los gases. Atmólisis. Efusión. Difusión libre de los líquidos. Osmosis.

TOMAS GRAHAM nació en Glasgow en 1805 y murió en Londres en 1869.

Hijo de un comerciante de Glasgow, cursó estudios secundarios y superiores en su ciudad natal y los perfeccionó en la Universidad de Edimburgo. Dedicado por completo a la química, fué nombrado profesor de esa ciencia en la Institución Anderson de Glasgow, y ocupó este puesto hasta 1837, año en que fué nombrado profesor del Colegio de la Universidad de Londres. En 1848, la Academia de Ciencias de Francia lo nombró corresponsal. En 1855, reemplazó a HERSCHEL en la Dirección de la Casa de Moneda, puesto en el cual tuvo a NEWTON entre sus predecesores.

Graham fué un gran químico. Sus investigaciones sobre los ácidos del fósforo y del arsénico, su distinción entre coloides y cristaloides, su hipótesis sobre el hidrógeno metal y sus tratados de química le aseguran un puesto de honor en la historia de esa ciencia. Pero Graham, como muchos sabios británicos, no se encerró en su especialidad, que consideró siempre como un capítulo de la "Filosofía Natural" cuyos otros capítulos no debía ignorar.

Sus trabajos que más nos interesan aquí están relacionados con la física y con la química, pues son sus célebres

investigaciones sobre la difusión de los gases y de los líquidos.

En 1833, inició sus investigaciones acerca de la difusión de los gases y separó de inmediato los fenómenos de difusión libre de un gas en otro, de los de difusión a través de paredes porosas.

Hemos visto que VOLTA (1790) observó la difusión libre del hidrógeno y del aire, yuxtaponiendo por sus bocas dos frascos con hidrógeno el uno y aire el otro y observando al rato que ambos frascos contenían gas explosivo. DALTON (1802) estableció la ley según la cual, en varios gases mezclados sin modificación de temperatura ni combinación química, la presión final de la mezcla es igual a la suma de las presiones que tendría cada gas, ocupando el volumen total. GAY-LUSSAC (1816) aplicó la ley de DALTON a los vapores que se encuentren lejos de su punto de condensación. Pero fué MITCHELL quien, en 1829, inició el estudio de la difusión de los gases a través de sólidos, basado en la sencilla observación de que globitos de caucho llenos de hidrógeno se elevan hasta el techo de una habitación y, después de unas horas, descienden por difusión del gas a través de la membrana de caucho. Con un manómetro de aire libre puesto en comunicación con un vaso cerrado conteniendo hidrógeno, con la interposición de una lámina de caucho, observó un ascenso de más de 80 cm. de la columna de mercurio.

Graham partió de estas sencillas observaciones en 1833 y estudió la difusión a través del caucho (1) y a través de paredes porosas de tierra cocida (2) con distintos gases, estableciendo que la velocidad con que un gas se difunde a través de una pared porosa es proporcional a la raíz cuadrada de su densidad. De allí se deduce que dos gases, aún con misma presión, atraviesan la pared porosa que los separa, con velocidades distintas, variando continuamente la composición de la mezcla en ambos recipientes, fenómeno

(1) CHWOLSON. t. II. pág. 140.
(2) CHWOLSON. t. II. pág. 138. GANOT pág. 152.

aprovechado por Graham como método de análisis (atmólisis).

Graham comparó la difusión por paredes porosas al derrame de los gases a través de orificios muy pequeños, fenómeno en el cual interviene el "frotamiento interno" (1), y llamó el fenómeno "efusión". Veremos más lejos que BUNSEN (1857) estudió este fenómeno del derrame de los gases basándose en estos trabajos de Graham, trabajos que le valieron un premio de la Sociedad Real de Edimburgo.

En 1850, Graham emprendió el estudio de la difusión de los líquidos. Aquí también diferenció de inmediato la difusión libre de los líquidos, de la difusión a través de paredes porosas u ósmosis.

El estudio de la difusión libre de dos líquidos tiene en sus antecedentes la observación de BERTHOLLET (1803), de la relación entre la corriente de difusión y la conductibilidad térmica, pero el estudio metódico de la cuestión se debe a Graham (1850) (2). Para ello puso los líquidos directamente en contacto o adoptó el procedimiento de la sumersión en el agua de un frasquito lleno de la solución a estudiar y provisto de un obturador que se retira al iniciar la observación. Graham estableció así: que la velocidad de difusión depende de la naturaleza del cuerpo disuelto; que la cantidad de sales que se difunden es proporcional a la concentración; y que la concentración aumenta con la temperatura.

La difusión libre de líquidos fué estudiada después por FICK (1855), quien hizo un estudio teórico basado en la ley de FOURIER; KELVIN (1856), quien imaginó un ingenioso método de observación, con perlas de vidrio flotantes; BEILSTEIN (1856), quien inventó un aparato demostrativo; STEFAN (1874), KUNDT (1877), H. F. WEBER (1879), GOUY (1880), SCHUMEISTER, SCHEFFER, LENZ, WIENER, BOLTZMANN, HUM-

(1) CHWOLSON t. II. pág. 26 y siguiente.
(2) CHWOLSON t. II. pág. 250 y siguientes. HOPPE, "Hist. de la Phys." pág. 121.

PHREYS, MEYER, etc... quienes hicieron determinaciones ya por distintos métodos experimentales, ópticos o eléctricos, ya por análisis teórico, de los fenómenos de difusión libre y de sus coeficientes.

La ósmosis (1) fué estudiada por primera vez por el abate NOLLET en 1748 cuando observó que, al sumergir en un recipiente con agua un vaso con aguardiente cuya boca estaba obturada con una vejiga, al cabo de algunas horas, esta membrana estaba inflada debido a la penetración de agua. Repitiendo la experiencia con inversión de los líquidos en los recipientes, NOLLET observó la concavidad de la vejiga por haber salido ahora el agua interior hacia el aguardiente circundante. NOLLET dió a este fenómeno el nombre de "difusión". Hemos visto ya (véase MAGNUS) que, después de NOLLET, la ósmosis fué estudiada por PARROT (1812) con paredes porosas, por FISHER (1814) y CHEVREUL (1822) con membranas animales, por MAGNUS (1827) y por JOLLY (1849), quien hizo determinaciones cuantitativas. En 1854, Graham inventó el dializador que separa los cristaloides de los coloides por ósmosis. Con VAN'T HOFF (1886) asistiremos a nuevos progresos de la ósmosis.

BOURDON
(1808-1884)

Manómetro metálico. Barómetro aneroide de Vidi.

EUGENIO BOURDON nació en 1808 y murió en París en 1884.

Empleado en una casa de comercio y luego en el taller del mecánico Calla, Bourdon no tardó en hacerse notar por su espíritu inventivo.

---

(1) CHWOLSON t. II. pág. 262 y sig.

En 1835, abrió una fábrica de máquinas de vapor y de máquinas-herramientas.

Sus inventos más conocidos son su manómetro metálico y su barómetro aneroide (1), simple modificación del de VIDI (2).

Se ocupó mucho del perfeccionamiento de la máquina de vapor y la muerte lo sorprendió mientras realizaba experimentos sobre la resistencia que el aire opone al movimiento de las locomotoras.

R. KOHLRAUSCH
(1809-1858)

Electrómetro. Resistencia eléctrica de los líquidos. Comprobación de la ley de Ohm. Descarga residual. Teoría de la electrólisis. Magnitudes eléctricas.

Los dos físicos Kohlrausch, Rodolfo y Federico (véase), padre e hijo, realizaron una obra importante y, aunque Rodolfo muriera algunos años antes que Federico iniciara su labor de sabio, puede afirmarse aqui, como para los NEUMANN, que la obra del hijo fué la continuación de la obra del padre por su idéntica tendencia.

RODOLFO GERMAN KOHLRAUSCH nació en Gotinga en 1809 y murió en Erlangen (Baviera) en 1858. Se ocupó especialmente de electricidad colaborando frecuentemente con GAUSS y WEBER.

En 1847, inventó un electrómetro de gran sensibilidad que le permitió, en 1848 y 1849, hacer una delicada compro-

---

(1) CHWOLSON t. II. pág. 62 y 67; GANOT pág. 136 y 143.

(2) LUCIANO VIDI (1805-1866). Mecánico francés, inventor del barómetro aneroide. Los experimentos que tuvo que realizar para llegar a su invento lo arruinaron, pero su completo éxito le devolvió la fortuna. Después de un largo pleito con BOURDON, se reconocieron sus derechos al invento y se prohibió a éste construir el aparato similar del cual era inventor.

bación de la ley de OHM a la que MARIE DAVY (1846) había creído encontrar excepciones como volviera a hacerlo más tarde DESPRETZ (1852). Este aparato de Kohlrausch era un perfeccionamiento del electrómetro que DELLMANN construyó, en 1843, a pedido de OERSTED, y está fundado como éste, en la balanza de torsión de COULOMB. Sus principales características son, además, que el aire que contiene es secado por ácido sulfúrico y que tiene un hilo de algodón a fin de evitar la "elasticidad retardada", fenómeno descubierto por WEBER y bien estudiado por Kohlrausch.

Se debe también a Kohlrausch un aparato para la determinación de la resistencia eléctrica de los líquidos en general y de los electrólitos en particular. Este aparato es parecido a un puente de WHEATSTONE en que el galvanómetro ha sido reemplazado por un teléfono. Con este dispositivo, comprobó la ley de OHM y las observaciones de BARLOW, en los líquidos.

En 1854, R. Kohlrausch estableció una teoría basada en la teoría general de WEBER, sobre la formación de la "descarga residual", en la cual estableció que el resíduo es una fracción constante de la carga primitiva y determinó el tiempo en que se forma la carga residual (1). Sabemos que WINKLER (1746) descubrió la "carga residual" del dieléctrico en la botella de Leyden y que este fenómeno fué estudiado por GAUGAIN y por WULLNER (1874-1887).

En 1856, R. Kohlrausch dió una imagen de la teoría de la electrólisis, distinta de la de FARADAY, pero basada en absoluto en los conceptos de la teoría electroquímica de BERZELIUS. Como éste, atribuía a todos los elementos una cantidad igual de ambas electricidades: al combinarse el hidrógeno con el oxígeno para formar agua, el hidrógeno cede al oxígeno su electricidad positiva, de modo que la molécula de agua tiene dos cantidades de electricidad positiva en el hidrógeno y dos de electricidad negativa en el oxígeno. Al desprenderse de un electrodo el hidrógeno gaseoso

(1) CHWOLSON. t. IX. pág. 287.

por electrólisis, debe ceder una cantidad de electricidad positiva y absorber una de electricidad negativa a fin de obtener como elemento libre, cantidades iguales de ambas electricidades; y, vice-versa, el oxígeno cede en su electrodo una cantidad de electricidad negativa y absorbe una cantidad de electricidad positiva. Kohlrausch consideraba pues, igual que FARADAY en ésto, que el agua es el electrólito, a pesar de que DANIELL ya había señalado las "acciones secundarias". En 1853, HITTORFF debía, en su vasto trabajo sobre electrólisis, establecer claramente que sólo son electrólitos substancias que en las reacciones efectúen entre sí un doble cambio. El gran progreso traído por HITTORFF al estudio de la electrólisis fué seguido por otro gran progreso con los trabajos de F. KOHLRAUSCH (véase).

Sin detenernos en varios otros aparatos y métodos de determinación de constantes eléctricas y ópticas imaginados por R. Kohlrausch, sólo recordaremos todavía la obra que escribió en colaboración con WEBER, en 1857, titulada "Medidas Electrodinámicas", que es una verdadera teoría de esas medidas y en la cual se encuentra un valor muy exacto de la relación entre la unidad electromagnética y la unidad electrostática así como cálculos acerca de las magnitudes de la ley de WEBER y de su relación con la velocidad de la luz que inspiraron a MAXWELL en su célebre teoría

---

REGNAULT
(1810-1878)

Verificación de la ley de Boyle-Mariotte. Compresibilidad de los líquidos. Tensión de vapores saturantes y de vapores de mezclas. Dilatación de los líquidos y de los gases. Densidad de los gases. Modificación y ecuación de Van der Waals. Calor específico del agua y de los gases. Calor de vaporización del agua y de gases licuefactos. Propagación del sonido en los gases. Diversos aparatos.

VICTOR REGNAULT, el gran experimentador francés, nació en Aquisgrán en 1810 y murió en París en 1878.

Su padre, que era capitán del cuerpo de ingenieros geógrafos en los ejércitos de Napoleón, pereció en la funesta campaña de Rusia. Su madre sucumbió al dolor, pocos meses después, dejando huérfanos a Victor y a su hermanita, y estos fueron recogidos por el capitán Clement, compañero de armas de su padre y cuya hija fué más tarde esposa de Regnault.

Terminada su instrucción primaria, los dos hermanos fueron colocados como empleados en una tienda, pero el futuro sabio, que ya sentía una invencible atracción hacia el estudio, no se abandonó a su mala suerte. En sus pocas horas libres, concurría a una biblioteca pública para preparar estudios de matemáticas que ampliaba en su cuarto durante las largas horas de la noche.

Estos esfuerzos tuvieron su justo premio cuando, en 1830, Regnault, que cumplía veinte años, ingresó en la Escuela Politécnica tras brillante examen. Dos años más tarde, egresaba de esa Escuela con el segundo puesto y pasaba a la Escuela de Minas, donde cursó en dos los tres años reglamentarios.

En 1835, Regnault fué nombrado profesor ayudante de docimasia en la Escuela de Minas y, poco después, volvió a la Escuela Politécnica como ayudante de GAY-LUSSAC, a quien reemplazó como profesor titular en 1840. En ese mismo año, fué elegido en la Academia de Ciencias

y, al año siguiente, fué nombrado profesor en la Sorbona. En 1847, agregaba aún a esos cargos el de ingeniero jefe de minas y el ministerio de obras públicas lo encargó del estudio de la importante cuestión de las variaciones de la tensión del vapor en función de la temperatura en las máquinas térmicas.



REGNAULT

Este trabajo, que puede ser considerado como el punto de partida de la inmensa obra de Regnault, lo atrajo definitivamente a la física en lugar de la química a la que había aportado ya interesantes contribuciones.

En 1854, Regnault fué nombrado director de la fábrica nacional de porcelana de Sevres; allí instaló su laboratorio y realizó sus célebres experimentos, y allí sufrió un accidente de laboratorio que afectó seriamente su salud.

La guerra de 1870 fué para él, un golpe terrible que fué seguido por ocho años de incesantes desgracias. Citaremos aquí una hermosa página del químico DUMAS, acerca de los últimos años de la vida de Regnault:

"... En 1870, durante el sitio de París, una ma-
" no brutal aniquilaba, en Sevres ocupada por el ene-
" migo, todas sus notas y hasta el menor de sus ins-
" trumentos de laboratorio. Nada parecía cambiado
" en este asilo de la ciencia y todo estaba destruído
" Se habían limitado a romper el tubo de los termó-
" metros, de los barómetros y de los manómetros, que
" su participación en importantes experimentos consa-
" graba como verdaderos monumentos históricos. En
" cuanto a las balanzas y otros aparatos de precisión,
" había bastado forzar las piezas fundamentales de un
" martillazo; los registros y los manuscritos habían si-
" do entregados en montón a las llamas y habían sido
" reducidos a cenizas. Diez años de trabajos y centena-
" res de resultados que la filosofía natural no volverá
" a encontrar, habían desaparecido; la historia no re-
" gistra otro ejemplo de semejante crueldad.

" Se puede disculpar al soldado romano que, en
" el furor del asalto, asesinaba a ARQUIMEDES;
" pues él no lo conocía. Pero, decía Regnault con triste
" sonrisa y mostrándome sus instrumentos violados:
"Este trabajo de destrucción es la obra de un verdade-
" ro conocedor". "Y este polvo", agregaba empujan-
" do con el pie las cenizas de sus manuscritos, "es lo
" que queda de mi gloria..."

"... Este mal que no alcanzaba más que al sabio,
" no era nada al lado de aquel mal, que en el mismo
" momento, hería al padre en pleno corazón. En medio
" del desastre de la capitulación de París, la población
" entera experimentó un nuevo impulso de dolor al co-
" nocer la muerte de Enrique Regnault, víctima en
" Buzenval de la última bala salida de las filas enemi-
" gas, de Enrique Regnault que queda como el símbo-
" lo emocionante del talento, de la juventud, del patrio-
" tismo y de la desgracia...

"... Oprimido por todas partes, el primer pensa-
" miento de Regnault ante este derrumbamiento
" de todas las esperanzas de su vida, fué huir de París

"y encerrarse en una aislada morada de Lassigneu, "cerca de Ginebra, donde había sido objeto de los más "afectuosos cuidados por parte de su discípulo LUIS "SORET (1), rector de la Academia de Ginebra.

"Se ocupaba de la reconstitución de su laborato- "rio y de la reanudación de sus trabajos, cuando lle- "gó la catástrofe final que recuerda los desenlaces "más crueles de la tragedia antigua. Su hermana, "esa fiel compañera de sus penas y de sus alegrías, "que había venido en su ayuda, apenas llegada, con "el corazón desgarrado por el dolor, caía muerta en "los brazos de su hermano. Agobiado por esta nueva "ferocidad del destino, un ataque de parálisis lo con- "denaba al mismo momento, a esa larga agonía de "la que su colaborador REISET (2) y una fiel amiga "de la familia han tratado de suavizar las amargas "tristezas..."

Sin abrir juicio acerca del acto de barbarie al cual se refiere DUMAS, podemos encontrar en él un argumento más en contra de la guerra, destructora de las más hermosas obras humanas.

Regnault se destaca en la historia de la ciencia del siglo XIX, con una figura absolutamente original: es la encarnación de la exactitud experimental llevada al extremo de la perfección. Inventor ingenioso y observador paciente, imaginó una infinidad de aparatos o de perfeccionamientos con los cuales verificó, uno después de otro, con una seguridad casi absoluta, todos los puntos importantes del estudio del calor. No es extraño pues que su nombre

(1) LUIS SORET (Ginebra 1827-1890) fué colaborador de REGNAULT en París y de AUGUSTO DE LA RIVE en Ginebra. En 1867, instaló una estación actinométrica en la cima del Monte Blanco y llegó, como POUILLET, a la conclusión de que la temperatura del Sol no es más elevada que la de nuestras fuentes de calor terrestres. En óptica, estudió especialmente la difusión de la luz y la polarización atsmosférica; inventó un prisma doble para producir la dispersión anómala y un ocular fluorescente para la observación de las radiaciones ultravioletas.

(2) JULIO REISET (1818-1896) agrónomo, químico y físico francés.

sea constantemente citado por los textos al tratar de aquel importante capítulo de la Física.

Nada más difícil sin embargo, que dar brevemente un aspecto general de la obra de Regnault pues consiste en una infinidad de experimentos descriptos en numerosas memorias. No podemos sino recordar algunos de los principales trabajos originales de este "gran experimentador", ya que su estudio detallado sería un verdadero tratado de manipulaciones; también nos veremos obligados a citar en cada caso a los predecesores y a los sucesores de Regnault, pues éste no ha sido un iniciador sino un fuerte eslabón en la larga cadena de los pacientes comprobadores de magnitudes físicas.

En 1847, Regnault dió principio a sus célebres experimentos de verificación de la ley de Boyle-Mariotte en los que tuvo como principales predecesores a SULZER (1753), MUSSCHENBROECK (1753), GRAVESANDE, AMONTONS, ROBINSON (1823), OERSTED y SVENDSEN (1826), FARADAY, DESPRETZ (1827), POUILLET (1837) y DULONG y ARAGO (1830). El método adoptado por Regnault fué absolutamente distinto del que siguieron sus predecesores, pues en vez de hacer disminuir el volumen del gas que se comprimía volvía a introducir gas en el aparato después de cada compresión a fin de conservarle el volumen inicial. Evitaba así las numerosas causas de error debidas a la determinación de la disminución del volumen del gas, determinación que se hacía cada vez más difícil a medida que ese volumen se reducía (1).

Regnault estableció así que, a una temperatura media y para presiones hasta de 30 atmósferas, todos los gases son más compresibles que lo que expresa la ley de Boyle-Mariotte, con excepción del hidrógeno que es menos compresible. Observó también en el ácido carbónico que las divergencias a la ley observada a 0° y a baja presión desaparecen a 100°, de lo cual dedujo que todos los gases tienen un cierto campo de temperatura en que se comportan como

(1) Véase detalles del experimento en CHWOLSON t. II. pág. 33 y GANOT pág. 147.

un gas perfecto. Esta idea fué recogida por MENDELEIEFF (1860) con su "temperatura absoluta de ebulición" que ANDREWS llamó el "punto crítico" (1870), y por AVENARIUS (1835-1895) que demostró (1874) que en todos los gases debe existir esa temperatura en la cual el pase del estado líquido al gaseoso ya no exige trabajo interno alguno.

Después de Regnault, la cuestión de la verificación de la ley de Boyle-Mariotte fué estudiada por SILJESTROM (1873), MENDELEIEFF (1874-76), AMAGAT (1) (1876-1883), FUCHS (1888), VAN DER WAALS (1889), RAYLEIGH (1901) para las presiones bajas, y por NATTERER (1850-54), CAILLETET (1870-79), AMAGAT (1878) y LEDUC (1896-98) para las presiones altas.

En 1848, Regnault estudió la compresibilidad de los líquidos y pudo sobrepasar los esfuerzos de F. BACON (1620), de la Academia del Cimento (1667), CANTON (1761), PERKINS (1820), OERSTED (1822), COLLADON y STURM (1825-27), gracias al aparato que permite hacer con exactitud la corrección de la variación de capacidad del piezómetro (2). Después de Regnault debe citarse aquí a AMAURY, DESCAMPS y JAMIN (1869), AMAGAT (1869), CAILLETET (1872), TAIT, ROENTGEN, etc.

---

(1) EMILIO HILARIO AMAGAT (1841-1915) físico francés, perteneció desde 1892 a la Academia de Ciencias. Estudió especialmente la compresibilidad de los líquidos (1876-1880) (CHWOLSON t. II. pág. 177), de los gases (CHWOLSON t. II. pág. 30-46), la dilatación de los flúidos (GANOT pág. 217-224), la influencia de la presión sobre la solidificación (GANOT, pág. 243), la fórmula de termodinámica de CLAUSIUS (CHWOLSON t. VII. pág. 95), la energía interna de los cuerpos (1884-1909) (CHWOLSON. t. VII. pág. 111), las leyes de los vapores saturantes (1893) (CHWOLSON t. VIII pág. 95), la generalización de la teoría de los estados correspondientes de VAN DER WAALS (CHWOLSON t. VIII pág. 164; GANOT pág. 279), el calor específico, la elasticidad, etc. Inventó un barómetro y un manómetro (GANOT pág. 135 y 143)

(2) CHWOLSON t. II. pág. 172.

La medida de la tensión de los vapores saturantes ha sido realizada por Regnault por tres métodos distintos (1), en 1843, o sea simultáneamente con los trabajos de MAGNUS sobre la misma cuestión. Sus precursores fueron: ZIEGLER (1759), BETANCOURT (1792), G. C SCHMIDT (1800), DALTON (1805), TOMAS YOUNG (1807), DESPRETZ (1822), DULONG y ARAGO (1830). Después de Regnault y MAGNUS, las principales determinaciones de la tensión de los vapores saturantes fueron hechas por PLUCKER (1854), WINKELMANN, RAMSAY y SIDNEY YOUNG (1883), CAILLETET (1892), BATELLI (1892) (2), KELVIN (1897), etc. En relación con esta cuestión hemos visto ya (véase MAGNUS), que Regnault confirmó y amplió los estudios de MAGNUS acerca de la tensión de vapores de mezclas de líquidos.

Para el estudio de la dilatación de los líquidos (3) y más especialmente del mercurio, Regnault perfeccionó el método de DULONG y PETIT.

En el estudio de la dilatación de los gases empleó el termómetro de gas (4), pudiendo así discutir la exactitud de la ley de GAY-LUSSAC. Aquí recordaremos los trabajos de AMONTONS (1702), VOLTA, PRIESTLEY, LA HIRE, SAUSSURE, ROY, PRIEUR, LAPLACE, GAY-LUSSAC, DALTON, DULONG y PETIT, POUILLET, RUDBERG (1837) y MAGNUS (1842) como predecesores, y, después, JOLLY, CHAPPUIS, ANDREWS, AMAGAT, HOFFMANN, MENDELEIEFF, TRAVERS, JACQUEROD, etc. Hemos dicho que MAGNUS (véase) emprendió sus investigaciones para hacer con-

(1) CHWOLSON, t. VIII, pág. 15 o GANOT, pág. 249.

(2) ANGELO BATTELLI (Macerata Feltria 1862) político y físico italiano, profesor en la Universidad de Pisa y diputado socialista; estudió especialmente el electromagnetismo, el efecto THOMSON (1887), el efecto PELTIER (1889), el magnetismo terrestre (1891), el punto crítico de las altas presiones (1893), los rayos X (1895), la crioscopía (1898), la ley de Boyle-Mariotte a bajas temperaturas (1901), etc...

(3) CHWOLSON t. VI. pág. 116; GANOT pág. 215.

(4) CHWOLSON t. VI. pág. 30 y 150; GANOT pág. 222.

cordar los resultados de GAY-LUSSAC con los de RUDBERG. Regnault confirmó los valores obtenidos por MAGNUS y encontró, como él, que los gases de fácil licuefacción son de coeficiente de dilatación más elevado; demostró además, de acuerdo con DAVY, que ese coeficiente es independiente de la presión pero aumenta con un aumento de densidad.

El método de Regnault para la determinación de la densidad de un gas (lejos de su punto de licuefacción) (1), es el más perfecto, y fué seguido por LEDUC (2) (1892) y por LORD RAYLEIGH, quien observó por medio de él, que el nitrógeno extraído del aire es más denso que el que se obtiene por otros procedimientos químicos, y descubrió así la presencia de cuerpos nuevos (argón, criptón, neón y xenón).

De la inexactitud de las leyes de Boyle-Mariotte y de GAY-LUSSAC para los gases reales deriva la imposibilidad de considerar exacta la fórmula de CLAPEYRON que se basa en ellas. VAN DER WAALS dió entonces la ecuación general de los gases reales y esta ecuación recibió numerosas modificaciones entre las cuales deben citarse las de CLAUSIUS, de SARRAU (3) y de Regnault (4).

Regnault fué el primero en determinar con experimentos completos, el calor específico del agua por el método de las mezclas (5). En 1862 se ocupó del calor específico de los gases con la confirmación de los célebres experimentos de DELAROCHE y BERARD (1813) (6), por un método

---

(1) CHWOLSON t. II. pág. 20; GANOT pág. 225.

(2) SILVESTRE LEDUC (n. en Oust Marais, Somme, 1856) físico francés, fué profesor en la Sorbona.

(3) JACOBO SARRAU (Perpignán 1837-París 1904) era ingeniero egresado de la Escuela Politécnica; fué profesor de esa misma escuela y miembro de la Academia de Ciencias. Se ocupó de física, de matemáticas y de balística. En física, sus principales trabajos interesan la compresión de los gases y varios problemas de óptica y de termodinámica.

(4) CHWOLSON t. II. pág. 36 y 53.

(5) CHWOLSON t. VI. pág. 168.

(6) CHWOLSON t. VI. pág. 216.

nuevo y aparatos de su invención (1). Antes de esos experimentos de DELAROCHE y BERARD, que les hicieron establecer, en 1813, la ley según la cual "La capacidad calorífica de volúmenes iguales de diversos gases simples, tomados en iguales condiciones de temperatura y de presión, es constante", deben recordarse los estudios de CRAWFORD, LAVOISIER y LAPLACE, CLEMENT DESORMES, GAY-LUSSAC y LESLIE, sobre la misma cuestión.

El calor latente de vaporización del agua es otro capítulo en cuya historia el nombre de Regnault debe figurar al lado de grandes nombres de la historia de las ciencias. Aquí fueron BLACK (1762), CRAWFORD, LAVOISIER y LAPLACE, IRVINE, BERTHELOT, URE, ANDREWS (2), CLEMENT DESORMES, RUMFORD, DESPRETZ y WATT, sus principales predecesores y los valores encontrados por ellos oscilan entre 430 y 593 calorías. En 1845, Regnault encontró el valor de 537 calorías y estableció una fórmula de la variación del calor de vaporización en función de la temperatura cuyos valores concuerdan con las que se obtienen por la ecuación de CLAUSIUS (3). Estas determinaciones fueron comprobadas y ampliadas por LOUGUININE (4).

---

(1) CHWOLSON, t. VI, pág. 218; GANOT, pág. 234.

(2) TOMAS ANDREWS (Dublín 1813-Londres 1885), fué profesor de su ciudad natal, luego pasó al Queen's College de Londres (1849-79) donde fué hecho miembro de la Sociedad Real y Presidente de la Asociación Británica (1876). Sus estudios abarcan la química y la física y particularmente sus capítulos comunes o sea la físico-química. Entre estos merecen especialmente ser recordados los célebres experimentos de Andrews (CHWOLSON t. VIII. pág. 123- 6, t. II pág. 43) sobre el "punto crítico" del anhidrido carbónico, que realizó en 1869 y que fueron la consagración de los experimentos de CAGNIARD DE LA TOUR, quien descubrió el estado crítico, en 1822. Ya antes de estos estudios, en 1845, Andrews había propuesto un interesante método de determinación de la capacidad calorífica de un cuerpo, (CHWOLSON t. VI. pág. 201), que fué empleado por HIRN en sus célebres estudios de termodinámica. En 1848, estudió los calores de combustión de los gases después de LAVOISIER, DAVY y DULONG, pero antes de FAVRE y SILBERMANN. La obra química de Andrews es también importante.

(3) CHWOLSON t. VI. pág. 255; GANOT pág. 258.

(4) WLADIMIR LOUGUININE (Moscou 1834 — París 1911) era oficial ruso y asistió al sitio de Sebastopol y a la defensa de Malakoff.

Continuando los trabajos anteriores, Regnault se ocupó, el primero, de la determinación del calor de vaporización de los gases licuados, estudio en que fué seguido por FAVRE y SILBERMANN (1853), CHAPPUIS (1888), MATHIAS (1890), DEWAR (1) (1905) y otros.

De 1862 a 1866, Regnault se ocupó de la propagación del sonido en los gases y aquí su nombre se agrega a una larguísima lista de físicos, entre los cuales figuran: GASSENDI; MERSENNE (1640), BORELLI y VIVIANI con la ACADEMIA DEL CIMENTO (1660); BOYLE (1700); WALKER; BIANCONI; LA CAILLE, CASSINI y MARALDI (Comisión de la Academia de Ciencias, 1738); DANIEL BERNOULLI; CHLADNI; PRONY, BOUVARD, ARAGO, GAY-LUSSAC y HUMBOLDT (Comisión de la Oficina de Longitudes de París, 1822); MOLL y VAN BECK en Holanda (1823); FRANKLIN, PARRY y FORSTER en las regiones árticas (1822-24); KENDALL (1825); BRAVAIS (2) y MARTINS en las

---

Abandonó el ejército por la ciencia y se especializó en física, en Heidelberg, Zurich y París. Fué profesor de la Universidad de Moscou. Se interesó especialmente en el estudio de la calorimetría (CHWOLSON t. VII. pág. 266) y de la absorción de los gases por los sólidos en colaboración con KHANIKOFF (1867).

(1) JACOBO DEWAR (1842-1923), físico, químico y fisiólogo inglés, fué ante todo un gran experimentador. En física, sus principales estudios son: el calor y sobre todo las bajas temperaturas. En 1893, inventó los célebres "vasos Dewar" que permiten conservar los gases licuados; pero debe recordarse que, en 1888, D'ARSONVAL (biólogo y físico francés, 1851-?) ya había imaginado el recipiente de paredes dobles de vidrio, entre las cuales se hace el vacío, y que Dewar sólo le agregó el feliz perfeccionamiento del plateado interior. Se debe también a Dewar un procedimiento de producción del vacío por el poder de absorción de los gases del carbón a bajas temperaturas. CHWOLSON cita a Dewar por sus estudios sobre absorción de los gases por los sólidos (t. II. pág. 87), por su licuefacción del fluor que hizo en colaboración con MOISSAN en 1897 (CHWOLSON t. VII pág. 296) y por sus observaciones sobre la influencia del frío sobre los imanes (t. X. pág. 84). Hoppe recuerda sus estudios sobre espectroscopía con LIVEING (1883).

(2) AUGUSTO BRAVAIS (Annonay, Ardeche, 1811-Versalles 1863) era oficial de marina, pero renunció a la carrera naval para ocupar una cátedra de física en la Escuela Politécnica. Se ocupó especialmente de cristalografía y, en física, de óptica y magnetismo.

Se le deben tablas de correcciones barométricas por capilaridad, un polariscopio, y cálculos sobre medidas eléctricas absolutas.

alturas de Suiza (1844). En 1862 y 1866, Regnault realizó sus experimentos en las cañerías de gas que se instalaban en París e imaginó un sistema eléctrico de inscripción de la llegada de las vibraciones (1).

Para terminar esta larga aunque tan incompleta lista de los trabajos sobresalientes de Regnault, citaremos también algunos aparatos de su invención como un manómetro de aire libre (2), un manómetro diferencial de principio original (3), sus bombas de compresión en cascada (4), su termómetro hipsométrico o hipsómetro (5), su higrómetro de condensación (6) y su volumenómetro (7).

QUET
(1810-1884)

Capilaridad. Influencia del campo magnético sobre el arco voltaico. Estratificación de la luz. Magnetismo terrestre. Tubos sonoros.

JUAN ANTONIO QUET nació en Nimes en 1810 y murió en París en 1884.

Fué profesor de física en Grenoble, Versalles y París. En 1854, fué nombrado rector de Besanzón y dos años más tarde, ocupó el mismo puesto en Grenoble; más tarde en fin, fué inspector general de Enseñanza Secundaria.

Quet se ha ocupado mucho de capilaridad (8) y ha realizado hermosos experimentos y determinaciones sobre los

---

(1) CHWOLSON t. III pág. 69; GANOT pág. 389, Hoppe, Hist. de la Phys. pág. 183.
(2) GANOT pág. 140.
(3) GANOT pág. 141. Hoppe, obra cit. pág. 147.
(4) GANOT pág. 171.
(5) GANOT pág. 255.
(6) CHWOLSON t. VIII pág. 81.
(7) CHWOLSON t. I. pág. 328.
(8) GANOT pág. 187.

tubos y las láminas capilares, que comprobaron la exactitud de las fórmulas de LAPLACE y sirvieron de unión entre la teoría y la experiencia. Los últimos físicos con los cuales hemos tratado progresos de la capilaridad fueron GAY-LUSSAC, YOUNG, POISSON, y MOSSOTTI y podríamos citar como contemporáneos de Quet en este estudio a DESAINS, FRANKENHEIM, DE HEEN, SIMON, VALSON, MENDELEIEFF, QUINCKE, WILHELMY, etc.

Quet estudió también la acción del electroimán sobre el arco voltaico.

" Empleaba", según sus propias palabras, "una pi-
" la capaz de dar un arco de 44 mm. Si los carbones
" estaban colocados a más de un milímetro de distancia
" la acción del electroimán rompía el arco con un rui-
" do seco. Era preciso acercar mucho los carbones pa-
" ra que la luz no fuese soplada y apagada por el elec-
" troimán; pero entonces el dardo se formaba y la lí-
" nea, en lugar de tener 4 mm., tomaba una longitud
" diez veces mayor".

Haciendo pasar una corriente inducida por un "huevo eléctrico" o sea un pequeño globo ovalado que contiene un gas rarefacto, Quet observó que la luz se divide en fajas paralelas alternativamente luminosas y obscuras, observó pues la "estratificación" de la luz.

Quet estudió también las variaciones del magnetismo terrestre y las vibraciones de los tubos sonoros; en química, descubrió el "precipitado marrón".

MATTEUCCI
(1811-1868)

Electricidad animal. Teoría del contacto. Segunda ley de la electrólisis. Interferencia de los rayos caloríficos. Magnetismo de rotación y diamagnetismo de las llamas. El mercurio no produce corriente térmica.

CARLOS MATTEUCCI, físico y político italiano, nació en Forli (Estado de la Iglesia) en 1811 y murió en Ardenza, cerca de Livorna, en 1868.

Doctor en ciencias matemáticas y ex-alumno de la Escuela Politécnica de París, Matteucci empezó a enseñar física en Bolonia, en 1832, y pasó a Ravena, en 1838, y a la Universidad de Pisa en 1840. Su sucesor en este último cargo fué su amigo RICARDO FELICI (1819-1902).

Se ocupó de política y llegó a ocupar altos cargos, los de Comisario Toscano (1848), Senador, Director de Telégrafos de Italia (1860) y Ministro de Instrucción Pública (1862). Sus cargos políticos no le impidieron proseguir sus estudios científicos y se puede decir que Matteucci colaboró en todos los estudios de electricidad desde 1830 hasta su muerte, en 1868.

Durante toda su vida se ocupó de la electricidad animal y sus estudios sobre esta cuestión contribuyeron eficazmente a la creación de la electrofisiología.

Matteucci participó (1844) al estudio de la producción de la corriente, defendiendo la teoría del contacto contra DAVY, DE LA RIVE, BECQUEREL, FARADAY y demás defensores de la triunfante teoría química de la pila.

Estudió profundamente la electrólisis, simultáneamente con FARADAY, a quien se adelantó en el descubrimiento de la segunda ley de la electrólisis (1). En 1833, realizó interesantes experiencias sobre interferencia de rayos calorí-

(1) PITONE. Storia della fisica. pág. 347.

ficos que fueron ampliados por KNOBLAUCH, 15 años más tarde.

En 1838, demostró con experiencias claras que el mercurio no produce corrientes térmicas y MAGNUS ratificó esta observación (1851).

En 1854, se interesó especialmente en el estudio de las corrientes inducidas del magnetismo de rotación y del diamagnetismo de las llamas, que descubrió en las llamas de muchos gases.

Matteucci fué en fin uno de los principales introductores del telégrafo eléctrico en Italia y dirigió la instalación de las primeras líneas italianas, en Toscana, en 1847.

HOEFER
(1811-1878)

Historia de Física.

FERNANDO HOEFER, que figura aquí como historiador de la física, nació en Doeschnitz (Turingia) en 1811, pero adoptó la nacionalidad francesa y murió en Brunoy (Sena y Oise) en 1878.

De origen modesto y destinado por sus padres al clero, Hoefer hizo buenos estudios primarios con el pastor de su pueblo y los continuó en el Colegio Oficial de Rudolstadt.

Renunció a sus proyectos de carrera eclesiástica y viajó por Holanda, Bélgica y el norte de Francia, que recorrió a pie.

Por falta de recursos, se enganchó en un regimiento del principado de Hohenlohe, pero volvió a Francia donde encontró ocupación en algunos colegios.

En 1840 se doctoró en medicina en París, donde fué secretario del filósofo COUSIN para quien tradujo la "Crítica de la razón pura" de KANT.

Se dedicó entonces a su profesión, ejerciéndola en los barrios pobres de París.

En 1843, el gobierno francés lo encargó del estudio de la enseñanza de la Medicina en Alemania y, tres años

más tarde, volvió a ir a su patria con una misión similar sobre la enseñanza de la economía rural.

Hoefer prefirió los estudios de erudición a la práctica de la medicina y se dedicó a la traducción de obras antiguas y modernas gracias a sus grandes conocimientos en lenguas muertas y vivas. Se recuerda así sus versiones francesas de la "Economía" de ARISTOTELES, de la "Biblioteca histórica" de DIODORO DE SICILIA, de los "Cuadros de la naturaleza" de HUMBOLDT, del "Tratado de química" de BERZELIUS. Cuando murió estaba terminando una traducción de las obras de KEPLERO.

La casa editora Hachette de París lo encargó de la redacción de los tomos referentes a la historia de las ciencias que completaron la "Historia Universal" publicada por una sociedad de profesores bajo la dirección de V. Duruy. Es así que Hoefer escribió la "Historia de la Física y de la Química" (1872); la "Historia de la Zoología", la "Historia de las Matemáticas" y la "Historia de la Astronomía".

La primera y la última de esas obras nos han sido muy útiles en la preparación del presente trabajo, pues, a pesar de ser muy elementales y de no poder considerarse como completas, ni siempre rigurosamente exactas, esas obras han sido eficazmente consultadas por los historiadores de ciencia.

BUNSEN
(1811-1899)

Solubilidad de los gases. Absorciómetro. Absorción de los gases en los sólidos. Derrame de los gases. Fotoquímica. Influencia de la presión sobre la fusión. Lámpara de magnesio. Fotómetro fotoquímico. Bomba de mercurio. Pila termoeléctrica. Pila Grove-Bunsen. Calorímetro de Bunsen. Fotómetro de mancha. Análisis espectral.

ROBERTO GUILLERMO BUNSEN nació en Gotinga en 1811 y murió en Heidelberg en 1899.

Más conocido como químico que como físico, ha realizado sin embargo una obra tan amplia en física, que ella sola bastaría para darle celebridad.

Estudió en la Universidad de Gotinga y se perfeccionó en París, Berlín y Viena.

En 1836, fué nombrado profesor de Cassel; dos años más tarde formaba parte de la Universidad de Marburgo; en 1851, pasaba a la de Breslau y, en 1852, en fin, a la de Heidelberg, ciudad donde se estableció definitivamente.

Bunsen fué principalmente un analítico, pero como no perdía nunca de vista la armonía de conjunto de los conocimientos, supo ser sintético también. Era un experimentador de una pericia extraordinaria y se han hecho célebres sus verdaderas proezas de manipulaciones químicas; era un admirador ferviente de la ciencia pura y jamás quiso sacar provecho material por medio de la aplicación de sus descubrimientos.

Bunsen inició sus trabajos originales con un estudio de los compuestos orgánicos del arsénico. De allí pasó al estudio químico y físico de los gases; estudió el interesante problema de la solubilidad de los gases en los líquidos e inventó, para la determinación de dicha solubilidad el conocido "absorciómetro" (1) que lleva su nombre. Ya en 1676, MARIOTTE había observado que el agua contiene aire en disolución y, en 1772, PRIESTLEY hizo determinaciones cuantitativas del aire disuelto. En 1803, HENRY (1774-1836) estableció la ley de solubilidad de gases en los líquidos: "La cantidad de gas que puede ser disuelta a una temperatura dada, en la unidad de volumen de un líquido, es proporcional a la presión del gas que queda sin disolver". En 1857, Bunsen, con el absorciómetro, hizo determinaciones que le permitieron establecer el valor del coeficiente de absorción:

$$\alpha = \frac{p.\ v - p'\ v'}{p'\ w}$$

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 80 y 83-86.

en que p y v, son la presión y el volumen del gas antes de la absorción, p' y v' las mismas magnitudes después de la absorción y w el volumen del líquido. Observó asi mismo que la influencia de la temperatura es muy grande y que, elevándose la temperatura, el coeficiente de absorción disminuye en todos los gases menos en el hidrógeno en que permanece igual.

La absorción de los gases en los sólidos también interesó a Bunsen, quien tuvo al respecto una larga discusión, de 1883 a 1886, sobre el punto especial de la oclusión y la condensación en el vidrio. Fué SAUSSURE quien observó por primera vez, en 1814, la absorción de gases por sólidos porosos (carbón de leña, yeso, espuma de mar), pudiendo aplicarse a esos casos la ley de HENRY entre ciertos límites pero observándose un aumento del coeficiente de absorción cuando aumenta la temperatura (1). En 1842, J. MOSER descubrió otro aspecto del contacto del gas con el sólido distinto de la "oclusión" como llama GRAHAM a la absorción en toda su masa; es la condensación del gas en la superficie del sólido, manifestada con las "imágenes de MOSER" (2). Este fenómeno ha sido estudiado por muchísimos investigadores modernos.

En 1857, Bunsen se ocupó del derrame de los gases y de su relación con la densidad de éstos. En 1715, TORRICELLI estudió el derrame del aire y lo hizo concordar con las leyes del derrame de los líquidos, cosa exacta para presiones medianas. En el siglo XIX, D'AUBUISSON, SCHMIDT (1820), KOCK (1824), GIRARD y SAINT VENANT (1839) estudiaron las variaciones de la velocidad de salida de un gas debidas a las condiciones de presión y a las disminuciones del orificio y del tubo de salida. GRAHAM llamó al fenómeno "efusión" y lo estudió de 1834 a 1846. Bunsen inventó un aparato ingenioso para medir la velocidad de salida de los gases por un orificio muy peque-

(1) CHWOLSON t. II. pág. 87.
(2) CHWOLSON t. II. pág. 88.

ño en una pared muy fina como una lámina de platino (1). Esta velocidad hacia el vacío, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad del gas; y, bajo misma presión y mismo volumen las densidades de los gases son proporcionales a los cuadrados de los tiempos de derrame. De allí un método de determinación de la densidad que, siguiendo a Bunsen, SORET (1868) empleó para determinar la densidad del ozono.

Bunsen estudió también la fotoquímica, la afinidad química y la influencia de la presión sobre la fusión. Se interesó en la aplicación de la electricidad a la química; demostró que se pueden descomponer por electrólisis las sales fundidas y que este método es preferible al método químico para ciertos metales (2). En 1864, en su colaboración con ROSCOE, para un estudio de fotoquímica, Bunsen constató que el magnesio (que preparaba por vía electrolítica) daba una luz poderosa y estos dos sabios aplicaron esta propiedad al alumbrado, inventando la lámpara de magnesio. En la misma oportunidad, inventó con ROSCOE un fotómetro fotoquímico de cloruro de plata. Bunsen fué el primero en reemplazar por agua el mercurio de las máquinas neumáticas del tipo de la bomba de GEISSLER o de la trompa de SPRENGEL (1834-1909) (3).

También hizo hacer un gran progreso a la pila termoeléctrica descubriendo que la pirita de cobre es más termoeléctrica que el bismuto, hasta entonces preferido. Pudo así construir una pila termoeléctrica que diera una corriente de cierta intensidad, mientras que las anteriores nò habían servido como generadores de electricidad sino como aparatos termométricos.

Hemos dejado para el fin los cuatro descubrimientos más conocidos de Bunsen: su pila, su calorímetro, su fotómetro y sobre todo el análisis espectral.

---

(1) CHWOLSON t. II. pág. 132.
(2) CHWOLSON t. X. pág. 208.
(3) CWOLSON t. II pág. 74.

La pila de Bunsen (1) es una pila de GROVE (2) en que se ha reemplazado el conductor de platino por un conductor de carbón. Este carbón está colocado en un vaso poroso que contiene ácido nítrico; el vaso está sumergido a su vez en ácido sulfúrico diluído, en el cual se coloca el conductor de zinc amalgamado. Ahora bien, la pila de GROVE fué construída por este sabio inglés en 1839, mientras que la de Bunsen sólo lo fué en 1843; más aún, GROVE ya había manifestado que en su pila el platino podía ser reemplazado por carbón para mayor economía, y, en 1839, ya se vendieron estas pilas de GROVE modificadas. COOPER (3), en fin, había leído memorias acerca de la pila de GROVE en la Sociedad Real de Londres. Los derechos de GROVE son pues indiscutibles, pero ya que Bunsen volvió a hacer el mismo inventó cuatro años más tarde sin conocer el invento de su colega inglés, se podría, sin tanta injusticia, llamar "pila de Grove-Bunsen" a la que se conoce generalmente sólo por el nombre del sabio químico alemán.

El calorímetro de Bunsen (4) fué inventado por éste en 1870. Como bien se sabe, es un calorímetro de hielo que no se basa en la absorción del calor, como el de LAVOISIER y LAPLACE, sino en la contracción del hielo durante su fusión, evitándose así el error de pérdida de agua adherida al hielo. Esta idea original no pertenece a Bunsen sino a HERMANN, físico ruso, quien construyó un calorímetro basado en este principio en 1834; además, HERSCHEL volvió a inventar un aparato similar en 1847 sin conocer el de HERMANN. En cuanto a su disposición, el aparato de Bunsen es absolutamente original.

Nada particular debe decirse acerca de la historia del fotómetro de manchas de aceite de Bunsen (5), demasia-

---

(1) CHWOLSON t. X. pág. 274; GANOT, pág. 625.

(2) GUILLERMO GROVE (Swansea 1811-Londres 1896), abogado y físico inglés, escribió interesantes trabajos de electricidad y defendió la hipótesis del origen común de todas las fuerzas naturales.

(3) EDUARDO COOPER (1798-1863) astrónomo inglés.

(4) CHWOLSON t. VI. pág. 179; GANOT pág. 230.

(5) CHWOLSON t. IV. pág. 247; GANOT pág. 422.

do conocido para ser descripto aquí, y sólo nos queda ocuparnos del análisis espectral, la obra que más gloria refleja sobre el tan activo sabio que nos ocupa.

Recordaremos brevemente los orígenes de este importante descubrimiento: En 1802, WOLLASTON observó la presencia de rayas negras a lo largo de los colores del espectro, pero no dió mayor importancia a su observación; y ésta fué nuevamente realizada por FRAUNHOFER, quien la estudió con toda atención, en 1814 y 1815, y observó las rayas negras del espectro solar, ubicando en la raya D de éste la raya amarilla del espectro de la llama. En 1822, BREWSTER y JUAN HERSCHEL se ocuparon del mismo asunto. BREWSTER examinó el espectro de la llama de alcohol con sal, observando claramente la raya clara D. HERSCHEL puso distintas sales en el alcohol y observó distintas rayas claras según las sales, lo que le hizo pensar que este fenómeno permitiría analizar las materias. En 1826, TALBOT se detenía en el espectro del estroncio y, pocos años más tarde (1834), estudiando varias sales, preveía claramente la posibilidad del análisis espectral. En 1829, HERSCHEL descubrió rayas obscuras y una raya azul en el espectro del nitrato de estroncio, y MILLER, en 1833, continuando esas observaciones de HERSCHEL, emitió la opinión que los gases y vapores coloreados dan esas rayas obscuras mientras que los incoloros no las producen (opinión negada por JANSSEN en 1871). En 1835, WHEATSTONE examinaba los espectros del arco voltaico con electrodos de distintos metales y volvió a sugerir la posibilidad de un método de análisis basado en las rayas características de los metales en el espectro. En 1836, BREWSTER observó las rayas atmosféricas en el espectro solar y atribuyó las rayas obscuras de FRAUNHOFER a la absorción, y buscó, como WREDE, una explicación teórica completa. En 1846, SWAN (1) afirmó que la raya clara D es característica del sodio y que su presen-

(1) SWAN, físico inglés, nació en 1828. Se ocupó de electricidad e implantó un procedimiento de fotografía al carbón.

cia en el espectro de la luz se debe a la presencia del sodio en la atmósfera. En 1849, FOUCAULT (véase) observó que las rayas brillantes D del espectro del arco se vuelven obscuras si se introduce en él luz solar; llegó pues muy cerca del descubrimiento que había de poner a KIRCHHOFF en la vía del éxito. DESPRETZ demostró que la intensidad de la corriente no influye sobre las rayas del espectro del arco.

ANGSTROM (1), en 1855, estableció que, en los compuestos químicos de los metales, los espectros son semejantes a los de los metales mismos, con sólo pequeñas desviaciones de las rayas, y que un cuerpo en estado incandescente emite rayas que absorbe a la temperatura ordinaria. Trató luego de explicar las rayas obscuras por el principio de resonancia de EULER, y, continuando las investigaciones de WHEATSTONE con el arco, demostró que se suprime la influencia de los electrodos y que sólo influye el gas sobre el espectro si se disminuye la presión. Los tubos de GEISSLER permitieron hacer esas observaciones en mejores condiciones, y PLUCKER, en 1856, se dedicó a inves-

---

(1) ANDRES ANGSTRÖM (Lödgö 1814--Upsala 1874), físico y astrónomo sueco, fué astrónomo del Observatorio de Estocolmo (1842), y luego, director del mismo (1850) y en fin profesor de física en la Universidad de Upsala (1858).

Hemos citado ya sus estudios sobre la conductibilidad calorífica en los sólidos, en los cuales estableció que la conductibilidad de los metales disminuye cuando aumenta la temperatura, gracias a su método de observación consistente en mantener a la temperatura ambiente un extremo de una barra metálica mientras se enfría y calienta sucesivamente el otro extremo (1863).

En óptica Angström se ocupó de refracción y polarización de los cristales, defendió la teoría de FRESNEL de las vibraciones transversales, y, además de lo que acabamos de ver acerca de su colaboración al estudio del análisis espectral como precursor de BUNSEN y KIRCHHOFF, continuó el estudio de la cuestión y entre sus valiosas observaciones se destacan sus exactas medidas del espectro solar por medio de la longitud de onda de 10^{-6} mm.

No debe ser confundido este sabio con su nieto, KNUT JUAN ANGSTRÖM (Upsala 1857 — Upsala 1910), quien fué profesor de física en la Universidad de Estocolmo de 1886 a 1891, fecha en que volvió a Upsala, donde recién fué nombrado profesor de la Universidad en 1906. Este sabio físico se ocupó especialmente del calor radiante y de la radiación solar, siendo bien conocido su perfeccionamiento del pirheliómetro de POUILLET (GANOT, pág. 891).

tigaciones del espectro de gases en los tubos, afirmando que un gas compuesto tiene las características espectroscópicas de sus componentes.

En 1856, Bunsen resolvió el problema de la llama incolora para mejorar las condiciones de las observaciones espectroscópicas, con el invento de su conocido "mechero".

De 1859 a 1860, en fin, los dos sabios prusianos KIRCHHOFF y Bunsen hicieron la suma de todos esos esfuerzos dispersos y crearon el análisis espectral.

KIRCHHOFF (véase) ya había estudiado el espectro del Sol y había reconocido en él las características de varios metales. En octubre de 1859, los dos sabios observaron que el espectro de luz solar que ha pasado por una llama de cloruro de sodio tiene una raya obscura D más nítida; en el espectro del sodio esta raya es amarilla y por consiguiente la raya D del espectro solar se debe a la absorción de los rayos amarillos por la atmósfera solar, que debe contener vapores de sodio.

En diciembre de 1859, KIRCHHOFF estableció su conocida ley: Para rayos de misma longitud de ondulación, a la misma temperatura, la relación entre el poder absorbente y el poder emisivo es la misma para todos los cuerpos. Pero dejemos a FOUCAULT, el precursor de KIRCHHOFF, explicar la consecuencia de esta ley:

> " Como consecuencia, el vapor del sodio colocado " como pantalla en el trayecto de una luz compuesta " debe detener al paso los rayos idénticos a los que emi- " te por su propia cuenta. Si, por otra parte, esta luz " es muy viva, llenará todo el espectro, con excepción " de los puntos ocupados por las rayas del sodio, las " cuales por el contraste de su menor intensidad se des- " tacarán en negro. Para verificar la justeza de esta " concepción, KIRCHHOFF empezó por procurarse " espectros de diversos metales alcalinos (sodio, litio, " estroncio); llevando sus sales a la llama pálida de un " mechero de gas, luego haciendo brillar detras de es- " ta llama la viva luz de DRUMMOND, vió esos es- " pectros invertirse por la substitución de rayas obcuras

" a las rayas luminosas y características de esos me-
" tales. Por esta experiencia verdaderamente admira-
" ble, KIRCHHOFF ha generalizado el hecho de la
" inversión del espectro que se había descubierto al-
" gunos años antes (1) en la luz eléctrica; y él lo ha
" generalizado a propósito con el fin de confirmar
" la concepción teórica de una correlación existente
" entre los poderes emisivos y absorbentes de las subs-
" tancias gaseosas" (2).

Así explica FOUCAULT la consecuencia de la ley de KIRCHHOFF, la formación del espectro de absorción (3) y la inversión del espectro (4). Mientras tanto, Bunsen, el colaborador químico del físico KIRCHHOFF, preparaba los espectros de todos los metales, venciendo los inconvenientes gravísimos causados por la menor impureza y demostrando que cantidades mínimas eran sensibles al análisis espectral. (5)

En 1860, KIRCHHOFF y Bunsen establecieron que ni las variaciones de temperatura, ni las combinaciones químicas se oponen al descubrimiento de la presencia de un metal por el espectro.

En 1861, los dos sabios descubrieron el "cesio" por el nuevo método de análisis y, al año siguiente, descubrieron el "rubidio", mientras que CROOKES descubría el "talio". Más tarde, el análisis espectral obtuvo nuevas victorias con el descubrimiento del "indio" por REICH y RICHTER (1864) y del "galio" por LECOQ DE BOISBAUDRAN (6) (1875).

---

(1) Obsérvese la modestia de FOUCAULT cuando habla de la inversión del espectro que "se había observado algunos antes en la luz eléctrica", pues podría haber dicho: "que yo observé algunos años antes..."

(2) LEON FOUCAULT. Journal des Débats, 1861.

(3) CHWOLSON t. IV. pág. 112.

(4) CHWOLSON t. IV, pág. 118.

(5) CHWOLSON t. IV. pág. 110.

(6) PABLO EMILIO LECOQ DE BOISBAUDRAN, nació en 1838 en Cognac donde su padre era fabricante del famoso vino del mismo nombre. Este químico francés era amigo íntimo de MENDELEIEFF.

El notable descubrimiento de Bunsen y KIRCHHOFF causó verdadera sensación. Muchos autores pretendieron quitarles méritos a estos sabios para atribuir a algunos de sus precursores la gloria del invento. FOUCAULT, quien tendría más derecho a ello, nos da un ejemplo de honestidad científica al no reivindicar ese derecho, y el fragmento de artículo que acabamos de reproducir demuestra hasta qué punto reconocía todo el mérito de KIRCHHOFF. Como conclusión pueden repetirse aquí las palabras de JAMIN:

"La historia de la ciencia nos muestra en raros in-
" tervalos, hombres predestinados que traen progresos
" súbitos por un simple relacionamiento, por una idea
" nueva, por un principio fecundo, en los cuales la ma-
" sa de los observadores encontraba materia a largos
" desarrollos. Esos hombres se llaman NEWTON,
" LAVOISIER, VOLTA, AMPERE, FRESNEL.
" Conocemos hoy dos nuevos nombres de esta lista:
" son KIRCHHOFF y BUNSEN."

MAYER (1)
(1814-1878)

El primer principio de la termodinámica. El equivalente mecánico del calor.

JULIO ROBERTO MAYER nació en Heilbronn, pequeña ciudad de Wurtemburgo, en 1814 y murió en la misma ciudad en 1878.

Su padre, que era farmacéutico, le hizo hacer sus primeros estudios en el colegio de su ciudad natal, pero fueron pocos sus éxitos escolares y en la enseñanza clásica, sobre todo, era muy inferior a sus compañeros. Del gimnasio de de Heilbronn, Mayer pasó al Seminario de Schoental, del

---

(1) "La Energía" y "Les Grands Hommes", por Ostwald.

cual tampoco fué brillante alumno. En 1832, a los diez y ocho años, ingresó en la Universidad de Tubingen para seguir los cursos de medicina, en los cuales tampoco sobresalió, siendo el único rasgo interesante que cabe recordar acerca de los años que pasó en la Facultad, el de haber sido suspendido por un año por formar parte en una sociedad prohibida. Esta suspensión tuvo una benéfica influencia, pues Mayer aprovechó esos meses de forzoso descanso para viajar; estuvo en Munich y en Viena y escapó así temporariamente a la deprimente monotonía del ambiente provinciano medioeval en que transcurrió su juventud.



MAYER

En posesión del título de médico que obtuvo en 1838, fué a Holanda para ejercer su profesión en la marina, pero poco antes de embarcarse, pudo realizar un viaje a París, donde se interesó en la intensa actividad del mundo científico.

A principios del año 1840, el doctor Mayer se embarcó en el velero holandés "Java" con dirección a las Indias

Holandesas. Este viaje debe ser recordado por su inmenso valor histórico para la ciencia, pues fué a bordo del "Java" que nació la idea del "principio de la conservación de la energía", germen de toda una ciencia: la energética.

¿Cuál fué el hecho que hizo meditar a Mayer sobre la producción del trabajo y su relación con el calor? Sus cartas y su diario nos contestan quizá a esta pregunta. Se ve por ellos que el futuro sabio tenía muchos ocios y que ocupaba sus largas horas de descanso, en ese ardiente clima de los mares tropicales, con la lectura de libros científicos. Un espíritu sin preocupaciones que busca en la ciencia una distracción, está dispuesto a detenerse en cualquier observación curiosa y en buscar, aunque superficialmente, su explicación científica. Mayer apuntó en su diario que un marinero le dijo que "el mar está siempre más caliente después de una violenta tormenta", e interpretó esta afirmación como una demostración del cambio del movimiento en calor. Más tarde, en Surabaya, haciendo una sangría a un marinero, observó que la sangre venosa era singularmente clara. Consultó a un médico del país, quien le aseguró que este fenómeno era general en las regiones tropicales. De esta nueva afirmación, Mayer dedujo también una explicación sencilla: el cuerpo necesita en los trópicos menos calor, menos oxidación. Así, en esas dos observaciones, el calor y el trabajo se unían en sus razonamientos y llegaban hasta confundirse. Mayer tuvo entonces, si no la genial concepción, por lo menos la definida aspiración científica cuyo cumplimiento debía ser la misión de su vida y su título de gloria: el esclarecimiento de los lazos secretos que unen en la Naturaleza el calor y el trabajo. Pero sintió también toda la debilidad de sus divagaciones y entendió que defender esta idea era una tarea grandiosa.

El joven médico alemán desembarcó en Holanda a principios de 1841 y volvió directamente a Heilbronn. Aunque muy entusiasmado por su idea, no le faltaban justos temores en cuanto a su realización, pues la física y las matemáticas eran para él ciencias casi extrañas; su primer cuidado, al llegar a su ciudad natal, fué averiguar si no había cometi-

do algún grave error de concepto, alguna grande confusión científica. No fué desalentado por esta confrontación de antecedentes, pues no encontró en la ciencia oposición alguna a su hipótesis; y, fortalecido por esta convicción, se dispuso con toda energía a tratar de resolver el problema.

En 1841, Mayer envió a POGGENDORFF un artículo titulado "Acerca de la Determinación Cuantitativa y Cualitativa de las Fuerzas" para que este sabio lo publicara en los "Anales de Física y Química", pero POGGENDORFF no dió cabida en los Anales al artículo de Mayer por considerarlo poco exacto desde el punto de vista matemático. Mayer cometía en efecto, y desde su principio, un error fundamental de concepto mecánico cuando, al establecer la relación entre el calor y el movimiento, avaluaba a éste por la cantidad de movimiento (mv.) según la idea de DESCARTES, en vez de emplear la fuerza viva ($mv.^2$) como lo había establecido LEIBNIZ. No era éste su único error y no puede ser acusado POGGENDORFF de injusticia ni de indiferencia por no haber querido publicar el artículo del joven médico; debe creerse, al contrario, como lo hace GUILLEMINOT, "que cualquier otro director de revista hubiera hecho lo mismo que POGGENDORFF, recorriendo un manuscrito lleno de errores fundamentales, en el cual el enunciado de una idea en desacuerdo con la ciencia oficial estaba acompañado por fórmulas inexactas". (1) Debe recordarse también, si se quiere librar por completo a POGGENDORFF de toda culpa por su negativa, que, en el año 1841, este sabio físico e historiador realizaba sus conocidas investigaciones sobre polarización eléctrica, precursora de la obra de LENZ, y debe recordarse aún que el trabajo de Mayer fué encontrado, después de la muerte de POGGENDORFF, entre manuscritos que éste conservaba sin duda con el fin de volver a consultarlos en su oportunidad.

A principios de 1842, un año después de desembarcar en Holanda y exactamente dos años después de la iniciación

(1) "Les Nouveaux Horizons de la Science", por GUILLEMINOT, t. II, pág. 419.

de su gran viaje, Mayer envió a LIEBIG (1) un nuevo artículo titulado "Observaciones acerca de las Fuerzas de la Naturaleza Inanimada" y este trabajo fué aceptado por el gran químico alemán, quien le dió publicación en los "Anales de Química". En este artículo, Mayer se apoyaba en nuevas experiencias y había corregido la mayor parte de sus errores matemáticos, gracias a la amistad del matemático BAUR (Tubinga 1820-1894) y también quizá gracias a las severas críticas del físico NORRENBERG (1787-1862).

En ese año de 1842, Mayer se casó y gozó de un breve período de felicidad aunque no lograra conquistar la gloria que merecía. Mayer no pudo siquiera obtener un puesto de profesor, ni fué elegido por ninguna academia, y siguió ejerciendo sencillamente su profesión de médico en su ciudad natal.

En 1845, publicó "El Movimiento Orgánico en Relación con el cambio de materia" en que se encuentra la exposición de su idea fundamental considerada desde el punto de vista biológico.

En 1848, publicó su "Contribución a la Dinámica del Cielo bajo una Fórmula Popular" en que intentaba dar una teoría del origen del calor solar (2). Poco después, hacia 1850, llegó para Mayer el momento de pagar las consecuencias de su exceso de trabajo. Fué en ese año que, en un acceso de fiebre cerebral, se arrojó por una ventana hiriéndose gravemente. Pareció mejorarse y, durante algunos meses, volvió a su trabajo profesional; pero su cerebro cansado no pudo resistir al nuevo esfuerzo. Mayer pasó entonces más de un año completamente privado de la razón y, después de su encierro, viajó por Suiza antes de volver nuevamente a Heilbronn, donde ya no pudo dedicarse casi a ninguna ocupación científica ni profesional.

---

(1) JUSTO BARON DE LIEBIG (Darmstadt 1803-Munich 1873), eminente químico alemán, estudió en Darmstadt, en Bonn y en Erlangen. En 1822, estuvo en París, trabajó con VAUQUELIN y GAY-LUSSAC y presentó importantes trabajos a la Academia de Ciencias. HUMBOLDT lo hizo nombrar profesor en Giessen y allí creó el primer laboratorio-escuela de Alemania. De Giessen, Liebig pasó a Heidelberg y luego a Munich. Su obra química es de enorme importancia.

(2) Véase GUILLEMINOT obra cit. t. II. pág. 445.

En 1862, sin embargo, publicó un artículo sobre la fiebre; y, en 1876, escribió su último trabajo: "Fenómenos de Liberación" en que estudiaba los casos en que la energía latente parece "libertarse de repente de los cuerpos que la contenían".

Durante los últimos años de su vida, un poco de gloria pareció rodear su nombre: TYNDALL tradujo sus obras al inglés y hablaba de él con admiración en "El Calor, Modo de Movimiento"; LIEBIG dió gran importancia a su descubrimiento; DUHRING, profesor en la Universidad de Berlín, perdió su cátedra por atreverse a defender con entusiasmo y valor las ideas de Mayer, à quien llamaba "el Galileo del siglo XIX"; Suiza, en fin, lo nombró miembro de honor de la Sociedad de Ciencias de Basilea.

No faltaron al mismo tiempo sabios que negaron a Mayer todo mérito o que lo acusaron de plagio: JOULE lo acusó de haberse basado en su descubrimiento de que el calor específico del aire es independiente de la presión e insistía en sus reivindicaciones a pesar de que Mayer le demostró que se había fundado en el experimento de GAY-LUSSAC, que establece que la expansión de un gas en el vacío no necesita trabajo alguno (1); SEIFFER quiso probar que FARADAY ya conocía el principio de conservación de la energía; HELMHOLTZ, en fin, atacó duramente a su gran compatriota.

Nos detendremos un instante en los ataques de HELMHOLTZ. Dijo así este gran matemático: "Es fácil encontrar analogías superficiales; es un tema de conversación, en sociedad y hallazgos espirituales valen pronto a su autor la fama de hombre de genio. Entre estos hallazgos numerosos, hay siempre algunos que, al fin resultan más o menos exactos ¡Sería verdaderamente un prodigio equivocarse siempre!"

Esta cruel ironía, inspirada por el comprensible desprecio del matemático analítico, que trabaja y prueba, ha-

(1) Véase la biografía de JOULE.

cia el sintético, que siembra la idea y cosecha la gloria, nos recuerda por la misma injusticia de su exageración un trozo de una carta de NEWTON a HALLEY, que hemos citado en la biografía de HOOKE.

HOOKE había acertadamente previsto la atracción universal y la propagación de la luz por ondulaciones transversales y Mayer había fundado la energética; pero es justo reconocer que a ambos les faltaba fuerza científica y que sus obras necesitaban el refuerzo del análisis.

Por otra parte, por genial que haya sido la idea de Mayer, deben reconocerse los méritos verdaderos de sus predecesores. Sin necesidad de recordar la obra de todos los forjadores del concepto del calor-movimiento desde la antigüedad, y entre ellos hemos señalado en distintas oportunidades: ARISTOTELES, R. BACON, KEPLERO, F. BACON, BOYLE, DESCARTES, NEWTON, J. BERNOULLI y EULER, podemos indicar como primeros precursores directos de Mayer a RUMFORD por su célebre experiencia de Munich en 1798, en que demostró que el frotamiento es fuente inagotable de calor, y a DAVY, que producía el calor necesario para su fusión frotando dos trozos de hielo. Luego FARADAY, en su constante esfuerzo para demostrar la unidad de las fuerzas naturales, llegó a emplear la expresión "convertibilidad de las fuerzas", contempló la posibilidad de la determinación de una relación fija entre todas las fuerzas y, al mismo tiempo, consideraba imposible el movimiento perpetuo, pero FARADAY, siempre grande en la experiencia, se limitó aquí a ser un especulador sagaz. SADI CARNOT (véase), el genial e indiscutido creador del 2º principio de la termodinámica (el 1º en el orden cronológico), enunció también el principio de conservación pero su trabajo permaneció inédito como ya lo hemos expresado. MOHR (1),

(1) CARLOS FEDERICO MOHR (Coblenza 1806-1879) eminente químico alemán, fué profesor en Bonn y era amigo de Liebig. La memoria de Mohr que le da derechos a ser citado entre los precursores de MAYER es de 1837, y en ella encontramos las líneas siguientes: "Fuera de los 54 elementos químicos, no hay más que un solo agente en la naturaleza y éste es la energía. Este agente puede, según las circunstancias,

el célebre químico y farmacéutico alemán, emitió, en 1837, ideas favorables al concepto de la conservación de la energía, pero no realizó experiencias y no dió prueba de haber apreciado la trascendencia del principio. SEGUIN, el inventor de la caldera tubular, desarrolló, en 1839, ideas acertadas que le fueron sugeridas por su tío, el célebre MONTGOLFIER, acerca del "enlace que debe existir entre el calor y el trabajo mecánico". Pero ninguno de esos sabios puede, con justicia, ser considerado como "creador" del primer principio de la termodinámica, aunque todos ellos hayan sido precursores valiosos de ese fecundo concepto.

HELMHOLTZ, que tanto contribuyó a la ampliación del principio, no puede tampoco ser considerado como su creador, como lo pretendieron sus partidarios, pues inició su estudio de la cuestión cinco años después de la publicación de los trabajos de Mayer. COLDING (1) y JOULE son más serios competidores de Mayer en cuanto al título

---

aparecer bajo forma de movimiento, de afinidad química, de cohesión, de electricidad, de luz, de calor, de magnetismo, y con una cualquiera de estas manifestaciones se pueden obtener cualquiera de las otras". TAIT, en sus "Progresos recientes de la Física", protesta contra la tendencia de los sabios a atribuir a MAYER el establecimiento del primer principio de la termodinámica; considera que la memoria de Mohr contiene todo lo que la de MAYER ofrece de exacto, no contiene sus errores y ha sido presentada bajo una forma más científica. Pero TAIT no considera tampoco a Mohr como autor del primer principio, sino a COLDING y a JOULE, pues — como muchos de sus compatriotas — da más importancia a la demostración experimental que a la idea teórica. (Véase "Les Progrès récents de la Physique" 1887, pág. 76 y 81-82).

(1) LUIS AUGUSTO COLDING, físico danés, nació cerca de Holback en 1815 y murió en Copenhague en 1888. De pobre origen, fué obrero carpintero, pero gracias a su dedicación al estudio pudo ingresar en la Escuela Politécnica de su país donde recibió el título de ingeniero y donde ocupó más tarde (1865) la cátedra de física.

En 1842, presentó a la Academia danesa varias notas que sólo fueron publicadas en 1851 y que contienen ideas originales aunque algo confusas, sobre el equivalente mecánico del calor. Sus trabajos tienen a veces un aspecto más filosófico que físico; no considera en ellos a la energía como "materia imponderable" como MAYER, sino como un espíritu. Realizó sin embargo experimentos y con un aparato parecido al que empleara COULOMB para el estudio del frotamiento, Colding determinó el calor de roce sobre distintas materias y obtuvo valores del equivalente mecánico que oscilaban alrededor de 350.

El título mismo de su obra denuncia su tendencia filosófica: "Relación entre las fuerzas intelectuales y naturales".

de creador del principio que BRUNHES (1), por temor a toda injusticia, llama "principio Mayer-Colding-Joule". TAIT se inclinó a favor de COLDING y de JOULE porque daba fundamental importancia a la experiencia; TYNDALL falló a favor de Mayer por considerar superior su clara visión del valor y de las consecuencias del principio; OSTWALD (2) defendió los derechos de prioridad de Mayer que son indiscutibles; ARIES (3), reconociendo los derechos de los precursores y de los continuadores y destacando el derecho moral de SADI CARNOT, proclama la superioridad de Mayer por haber creado el concepto nuevo de "energía", objeto real como la materia, de la que se distingue por carecer de ponderabilidad y de impenetrabilidad. Cada vez son menos en fin los historiadores que siguen empeñándose, como parece aún hacerlo BORDEAUX (4), en la campaña de desprecio o de silencio que tanto hizo sufrir al gran sabio alemán, y queda definitivamente reconocido (5) que Mayer ha sido el primero en enunciar con claridad el principio de la conservación de la energía, en vislumbrar su importancia y en darle el lugar que merece en la ciencia. Basta además, para convencerse de ello, leer estos párrafos de su inmortal memoria de 1842:

"Las fuerzas son causas y por consiguiente el principio: "La causa es igual al efecto" se aplica plenamente a ellas. A estas propiedades de todas las fuerzas les damos el nombre de indestructibilidad... La capacidad de revestir formas diferentes es la segunda propiedad esencial de todas las causas... Admitiendo estas dos propiedades, diremos: las causas son objetos cuantitativamente indestructibles y cualitativamente variables... Presenta la naturaleza dos categorías de causas entre las cuales la experiencia demuestra que existe una barrera infranqueable: la primera categoría abarca las causas que poseen las propieda-

---

(1) BRUNHES, "La Dégradation de l'Energie".
(2) OSTWALD, "La Energía".
(3) ARIES, "L'Oeuvre Scientifique de Sadi Carnot".
(4) BORDEAUX, "Hist. des Sciences au XIX Siècle", pág. 20-27.
(5) HOPPE, Hist. de la Physique. pág. 98, 284 y 9.

des de ponderabilidad e impenetrabilidad: son las materias; la segunda comprende las causas que carecen de estas propiedades: son las fuerzas... Las fuerzas son pues objetos indestructibles, variables e imponderables... Una fuerza no puede anularse, no puede sino tomar otra forma, y se plantea la cuestión de saber qué otra forma podrá tomar la fuerza que hemos aprendido a conocer como fuerza de caída y como movimiento. La experiencia sola podrá sernos útil. Frotemos una contra otra, dos placas metálicas, veremos desaparecer el movimiento y aparecer calor. El agua experimenta una elevación de temperatura cuando se le agita con fuerza. ¿De dónde proviene la cantidad de calor que puede producirse cuantas veces se quiera, con el mismo aparato, poniéndolo en movimiento? Puesto que está demostrado en multitud de casos que no puede encontrarse para el movimiento que desaparece más efecto que el calor, ni para el calor producido más causa que el movimiento, preferimos admitir que el calor nace del movimiento antes que aceptar una causa sin efecto o un efecto sin causa... Para poder resolver las ecuaciones que existen entre la fuerza de caída o el movimiento por un lado y el calor por otro, es preciso dilucidar la cuestión de saber cuál es la cantidad de calor que corresponde a una cantidad determinada de fuerza de caída o de movimiento. El hecho de que existe semejante equivalencia en la naturaleza, puede considerarse como resumen de las consideraciones que preceden...".

El método imaginado por Mayer para calcular el valor del equivalente mecánico del calor consistía en calentar aire atmosférico contenido en dos recipientes de volumen igual, conservando constante en uno, el volumen, y en el otro la presión. A la temperatura de 273°, el gas tendrá el doble de presión o de volumen que a 0°; pero uno de los gases habrá necesitado más calor que el otro y este calor suplementario corresponde al trabajo que le fué necesario para equilibrar la presión de la atmósfera (1).

(1) CHWOLSON t. VII. pág. 15.

La memoria de Mayer, que parece casi haber sido escrita por un vulgarizador de nuestros días, no tuvo sin embargo resonancia alguna en el mundo científico. La "Grande Encyclopédie", generalmente tan detallada en sus biografías, no menciona siquiera el nombre de Mayer y "L'Année Scientifique" de 1878, se limita a decir en su sección necrológica: "En Alemania se ha sentido la muerte de Roberto Mayer, autor del descubrimiento del equivalente mecánico del calor, muerto en Heilbronn el 20 de Marzo".

GEISSLER
(1814-1879)

Tubos de Geissler. Bomba de mercurio.

ENRIQUE GEISSLER nació en Igelshieb (Sajonia) en 1814 y murió en 1879 en Bonn.

Hijo de pobrísimos obreros, fué obrero a su vez en una fábrica de vidrio y luego viajó de ciudad en ciudad ejerciendo el arte de soplador de vidrio. Encontró en Bonn al físico PLUCKER, que estaba muy interesado por la palpitante cuestión de las descargas eléctricas en los gases rarefactos. Este encuentro fué tan feliz para el obrero como para el sabio, pues si éste encontró un colaborador hábil, el primero tuvo un maestro que bien pronto lo inició en los secretos de la ciencia.

Geissler se dedicó al estudio y pasó por varias universidades alemanas logrando en fin recibir el grado de doctor en filosofía.

Después de unos ocho años pasados en Holanda, donde ocupó un puesto oficial, el obrero sabio volvió a Alemania e instaló una casa de instrumentos de física y química en Bonn.

Allí inventó ingeniosos y útiles aparatos, demasiado eclipsados por la gloria de sus famosos "Tubos de Geiss-

ler" (1855) (1), que permitieron el estudio de las descargas en los gases y de la fosforescencia. Entre esos aparatos deben citarse como más conocidos: su bomba neumática de mercurio (2), que fué perfeccionada por POGGENDORFF, su vaporímetro para el estudio de los vapores alcohólicos, el dispositivo de un tubo capilar en los termómetros de máxima y mínima (1864), instrumentos especiales para la determinación del punto de densidad máxima del agua y aparatos de meteorología.

Geissler era muy amigo de su colega RUHMKORFF.

TRESCA
(1814-1885)

Derrame de sólidos. Continuidad del estado sólido y del estado líquido.

ENRIQUE TRESCA nació en Dunkerque en 1814 y murió en 1885 en París.

En 1832, entró en la Escuela de Saint Cyr y al año siguiente fué admitido en la Escuela Politécnica. Ingresó en el Cuerpo de Puentes y Caminos, pero renunció en 1841, y se ocupó de ciencias mientras se dedicaba al ejercicio de su profesión de ingeniero civil. En 1852, entró como profesor y sub-director en el Conservatorio de Artes y Oficios y, dos años más tarde, reemplazó al general MORIN en su cátedra de Mecánica, siendo también designado como profesor de esta ciencia en la Escuela Central y en el Instituto Agronómico.

Durante los treinta últimos años de su vida, Tresca, que gozaba ya de universal fama por sus profundos conocimientos en mecánica, se dedicó casi exclusivamente al estudio del "derrame de los sólidos", estudio que le valió, en 1862,

(1) GANOT pág. 791.
(2) CHWOLSON t. II. pág. 69.

el Gran Premio de la Academia de Ciencias, de la que fué hecho miembro diez años más tarde.

Estos estudios tienen una gran importancia, pues tienden a demostrar la continuidad entre los estados líquido y sólido (1). Para ello, era interesante demostrar que los sólidos y los líquidos no se diferencian por una rigidez finita en los primeros y nula en los segundos, ni por una viscosidad infinita en los primeros y nula en los segundos. Tresca demostró así que los sólidos también pueden fluir como los líquidos y su principal experimento merece ser descripto con algunos detalles.

Sobre una mesa fuerte, con una abertura en su centro, apilaba varias láminas del metal estudiado y ejercía sobre ellas una elevada presión. La barra cilíndrica que salió del orificio, fué serruchada longitudinalmente y luego pulimentada de modo que se pudo observar claramente cuál había sido el efecto de la presión sobre las distintas láminas (2).

DAUBREE (3) (1879), DEWAR (1894), OBERMAYER (1868-1904), TAMANN (1903), LEWKOIEFF, WERIGUINE y, sobre todo, el célebre químico belga SPRING, continuaron los estudios de Tresca, de los cuales BARRE DE SAINT VENANT dió la explicación matemática.

HIRN
(1815-1890)

Frotamiento en las máquinas. Métodos de determinación del equivalente mecánico del calor. Método del choque.

GUSTAVO ADOLFO HIRN, físico, mecánico y filósofo alsaciano, nació en Logelback, cerca de Colmar, en 1815 y murió en esta última ciudad en 1890.

---

(1) Física moderna por L. POINCARE, pág. 118-125.
(2) CHWOLSON t. II. pág. 421 y stgs.
(3) GABRIEL AUGUSTO DAUBREE (Metz 1814 — París 1896) célebre geólogo francés, director de la Escuela de Minas.

. Sabio verdadero, amante ferviente de la ciencia pura como de sus aplicaciones, Hirn no se formó en ninguna escuela afamada, ni universidad célebre. A los diez y nueve años entró como químico en la fábrica de géneros estampados que poseía su abuelo y al poco tiempo fué socio de esta empresa. Fué allí donde Hirn empezó a ocuparse de mecánica y, en 1845, publicó un estudio sobre ventiladores, que fué seguido al año siguiente por un trabajo sobre el gasto de los ríos. Pocos meses más tarde, interesado por el importante problema industrial de los aceites lubricantes, estudió el frotamiento.

Hirn estableció perfectamente que el frotamiento de piezas de máquinas bien engrasadas es sensiblemente proporcional a la raíz cuadrada de las superficies, a la raíz cuadrada de la presión entre estas superficies de roce o a su velocidad relativa. Estas conclusiones no estaban en perfecto acuerdo con las clásicas leyes de COULOMB, y esto explica el por qué la Academia de Ciencias de París rechazó la memoria que Hirn presentó al respecto, en 1848. La Sociedad Industrial de Mulhouse rehusó esa misma memoria por idéntica razón y, ante tal actitud, Hirn renunció a su título de miembro de dicha asociación.

Prosiguiendo sus estudios sobre el frotamiento, el sabio alsaciano observó que el calor desarrollado por éste y el trabajo necesario para vencerlo son proporcionales. Cuando supo, más tarde, que esta observación coincidía con los descubrimientos de MAYER y de JOULE y que estos descubrimientos daban nacimiento a un nuevo capítulo de la ciencia (la termodinámica), Hirn decidió dedicarse especialmente a su estudio.

Tomó entonces como aparato de experimentación física la máquina de vapor vertical de 100 HP que se utilizaba en la fábrica de Colmar, y, de 1853 hasta 1878, no descansó en sus experimentos.

Fué el primero en comprobar que la cantidad de calor que el vapor devuelve al condensador es inferior a la que el fogón ha producido, por más que se le agregue el calor perdido por radiación y conductibilidad. Pudo así dar valores

aproximados del equivalente mecánico, que oscilaban alrededor de 426; pudo comprobar experimentalmente los trabajos analíticos de RANKINE sobre la teoría termodinámica de la máquina de vapor, y agregó a esta máquina perfeccionamientos de tal importancia que pudo reducir su gasto a nueve kilos de carbón por caballo por hora cuando todas las máquinas gastaban de doce a quince (1).

Imaginó varios métodos de determinación del equivalente mecánico del calor por medio del frotamiento, por la extensión de un hilo como lo había imaginado EDLUND (2), por el derrame del agua, por la caída del agua como lo hacían GEROSA y CANTONI (3), por el martilleo de los metales, por el taladro de hierro como en el experimento de RUMFORD, etc. Pero el más original de todos esos métodos y el que ha conservado el nombre de Hirn es el método del choque.

Dos cuerpos no elásticos que chocan pierden su movimiento y lo cambian en calor. Este calor corresponde al trabajo que se ha necesitado para poner los cuerpos en movimiento. El método de Hirn, basado en este razonamiento, consiste en levantar una barra de hierro suspendida de un armazón por medio de cuerdas, y dejarla caer sobre un cilindro de plomo. El peso de la barra y la altura a que se eleva dan el valor del trabajo; y el aumento de temperatura y el calor específico del plomo dan la cantidad de calor a

(1) Léase en "Progresos de la máquina de vapor" de Dwelshauvers-Dery (Rev. Gén. des Sc. 1890 p. 129), un estudio sobre el valor práctico de este aspecto de la obra de Hirn, y léase sobre el mismo tema "Teoría Experimental y Analítica de Hirn y de Dwelshauvers" por Theerston (1890).

(2) ERIK EDLUND (1819-1888), físico sueco, profesor de la Academia de Ciencias de Estockolmo, se ocupó de la inducción de la electricidad atmosférica y de termodinámica, y es autor de una teoría sobre el éter.

(3) JUAN CANTONI (Milán 1819-1897), político y físico italiano; tomó parte en los principales movimientos políticos de su patria; fué profesor de física en la Universidad de Pavía y director del Servicio Meteorológico Italiano (1865-1879). Se ha ocupado de las cuestiones más diversas en física y se recuerdan especialmente sus investigaciones sobre evaporación y difusión de los líquidos, sobre la acción mútua de las corrientes (1865), inducción, elasticidad, hidrostática, condensadores eléctricos, etc.

la que equivale este trabajo. Por este procedimiento, Hirn avaluó en 425,2 el equivalente mecánico. En todos estos trabajos Hirn empleaba el término "caloría" recién introducido por FAVRE y SILBERMANN (1852) y aun de uso casi desconocido.

Siguiendo la idea de MAYER, Hirn demostró que el hombre puede ser comparado con un motor térmico en el cual la respiración produce el calor que se transforma en trabajo muscular, y empleó para esta demostración un método ingenioso: Un hombre colocado en una garita cerrada, trabajaba elevando constantemente su propio peso sobre una rueda móvil. El aire, que aspiraba a través de un tubo, provenía de un gasómetro y el aire expirado era llevado por otro tubo a un segundo gasómetro para poder medir el oxígeno consumido y el ácido carbónico desarrollado. Para establecer el número de calorías producidas se tomaba la temperatura de la garita; luego, reemplazando al hombre por mecheros de gas, se volvía a elevar la garita a la misma temperatura, calculándose entonces la cantidad de calor necesario en función de la cantidad de gas consumido. Observó así que, en estado de reposo, una cantidad determinada de oxígeno respirado da un número de calorías mucho más elevado que si el hombre trabajara, pues en este último caso una parte del calor se transforma en trabajo.

Son muchos, además de estos originales trabajos, los perfeccionamientos de teorías y las ideas nuevas que Hirn aportó a la termodinámica y que están expuestas en sus obras "Investigaciones sobre la Equivalencia Mecánica del Calor" (premiada por la Academia de Ciencias) y "Teoría Mecánica del Calor".

Hirn desarrolló sus ideas de filosofía científica en dos libros: "Análisis Elemental del Universo" (1868) y "Constitución del Espacio Celestial" (1888) que fué su última obra. En ellas Hirn se basó sobre la existencia de dos elementos constitutivos del Universo: la materia y el "elemento dinámico" (1) que es la unión material imponderable de

(1) EM. SCHWOERER "Las interferencias eléctricas". Revue Scientifique 1890. pág. 73.

los cuerpos de materia ponderable. Esta teoría es indudablemente un grado de la evolución de las ideas de MAYER hacia la energética tal como la concibe OSTWALD.

Hirn ha sido un sabio de gran valor y de una actividad poco común. Con un entusiasmo admirable sacrificó su fortuna y su salud por la ciencia y es triste pensar que, aunque conoció más tarde la gloria y la consideración del mundo científico, sufrió, sobre todo en sus principios, del aislamiento en que frecuentemente se abandona a los sabios que no son "de escuela", como ya tuvimos oportunidad de señalarlo en la biografía de BOUTIGNY.

CASELLI
(1815-1891)

La telefotografía.

El abate GIACOMO CASELLI nació en Siena (Toscana) en 1815 y murió en un hospital de Florencia en 1891. Pertenece a la categoría de los inventores que no conocieron ni la fortuna ni la gloria.

En 1854, el abate Caselli inventó el "pantelégrafo", aparato que trasmitía de una estación a otra la reproducción exacta de un dibujo o de una firma por medio de "péndulos simpáticos".

En 1863, construyó en París un modelo perfeccionado del mismo pantelégrafo con el célebre constructor FROMENT (1), y el gobierno francés lo adoptó para el servicio

---

(1) PABLO GUSTAVO FROMENT (París 1815-1865) estudió en la Escuela Politécnica y se especializó en la construcción de aparatos en Inglaterra FIGUIER lo considera como "el primero de todos los físicos constructores que se dedicaron a aplicaciones mecánicas de la electricidad". Froment se ocupó eficazmente del perfeccionamiento de los motores eléctricos; en 1867, presentó a la Exposición Universal un reloj eléctrico de maravillosa sencillez: se le debe además una máquina eléctrica de dividir que dividía el milímetro en mil partes iguales, perfeccionamientos del telégrafo, un dispositivo de iluminación de los retículos de los anteojos astronómicos, etc... Fué en fin el constructor del giroscopio, del péndulo y de los otros aparatos que FOUCAULT empleó en sus célebres experimentos.

público en las líneas de París a Lyon y de Lyon a Marsella. El público no se interesó en este singular invento y el pobre abate, después del fracaso material de su obra, volvió a Florencia donde murió en la mayor pobreza, en el hospital de Santa María.

El invento de Caselli no permanece sin embargo aislado en la historia de la ciencia y la "pantelegrafía" fué objeto de felices ensayos por ELISHA GRAY, por RITCHIE (1901) y, unos años más tarde, por el doctor KORN de Munich, quien inventó el "fototelégrafo" (1). Este último aparato, idéntico al de Caselli en cuanto a la finalidad, difiere en el procedimiento, pues ya no utiliza los péndulos simpáticos sino la propiedad del selenio de ser más conductor cuanto mayor sea su iluminación.

Las variaciones de la conductibilidad eléctrica del selenio ya habían sido observadas por KNOX, en 1837, quien vió que este metal se vuelve conductor cuando entra en fusión. HITTORF (1851) le reconoció la misma propiedad cuando está en estado cristalino, y MAY (1873) demostró que la resistencia del selenio es menor en la luz que en la obscuridad.

BELL (véase) se fundó también en esa propiedad del selenio para inventar su radiófono o teléfono sin hilo y sin ondas eléctricas.

El aparato de KORN ha recibido muchos perfeccionamientos y, en 1921, BELIN, en París, llegó a reproducir con toda claridad fotografías comunicadas desde Nueva York por telegrafía sin hilos, ampliando así magníficamente su primer triunfo obtenido en 1907 con iguales trasmisiones entre París, Lyon y Burdeos cuando no utilizaba aún las células fotoeléctricas de invento posterior.

Los nombres de BELIN y de KORN son, indiscutiblemente, los de los fundadores de la telefotografía moderna, pero el nombre de Caselli ocupa uno de los primeros lugares entre los precursores de la idea. A este progreso de

---

(1) GANOT pág. 851.

la telefotografía debe sumarse, en fin, en nuestros días, la trasmisión de la imagen de objetos en movimiento o sea la "televisión".

SIEMENS

E. W. SIEMENS: Bobina Siemens. Calor del dieléctrico en campo magnético variable. Dínamo sin imán permanente. Unidad de resistencia. Velocidad de la electricidad.

C. G. SIEMENS: Máquina de vapor regenerado. Pirómetro termoeléctrico. Batómetro.

Los diez hermanos Siemens, hijos de un campesino de Hannover, han formado una familia de sabios e ingenieros.

Entre ellos se recuerdan más frecuentemente a ERNESTO WERNER SIEMENS (1816-1892), CARLOS GUILLERMO (1823-1883), FEDERICO (1826-1904), HANS (1818-1867), CARLOS JORGE 1809-1885), WALTER (1832-1868) y OTTO (1836-1871).

El más conocido entre ellos es sin duda ERNESTO WERNER SIEMENS, que nació en Lenthe en 1816 y murió en Berlín en 1892. Entró como voluntario en el ejército prusiano a los diez y ocho años y estudió en la Escuela de Artillería de Berlín, de la que egresó con el título de oficial.

Durante sus horas de ocio se ocupaba de matemáticas y electricidad.

En 1841, obtuvo la primera patente prusiana para el dorado y plateado por galvanoplastía.

Conocido en el ejército por su preparación en mecánica e industria, fué nombrado superintendente de los talleres del Arsenal de Berlín en 1844. Tres años más tarde, formó parte de la comisión de estudio de los telégrafos de Prusia; en 1848, fué encargado de la instalación de la línea telegráfica subterránea de Berlín a Franckfort.

En 1850, Siemens abandonó el ejército y fundó con el ingeniero HALSKE, una fábrica de aparatos telegráficos que debía bien pronto tomar una importancia extraordinaria y volverse la proveedora de casi todo el mundo. Allí encontraron un vasto campo para sus actividades todos los hermanos. En 1867, HALSKE se retiró de la fábrica, que quedó en poder de la familia Siemens.

Ernesto no fué sólo un industrial activo sino también un sabio e inventor fecundo. Sus principales estudios interesan naturalmente la física industrial y especialmente la electricidad. Entre ellos deben recordarse sus experimentos sobre las variaciones de la intensidad de la corriente en las líneas telegráficas, submarinas y subterráneas.

En 1859, construyó con HALSKE la famosa "bobina de Siemens" que fué, durante mucho tiempo, la rival del "anillo de Gramme". (Véase GRAMME).

En 1860, estableció la unidad de resistencia del mercurio (columna de 1 m. de largo, 1 mm^2 de sección a 0°) que WEBER verificó; en el mismo año presentó sus conocidos reóstatos cerrados.

En 1861, observó por primera vez, en una botella de Leyden, que un dieléctrico que se encuentra en un campo eléctrico variable se calienta.

En 1863, se ocupó de la instalación de un cable telegráfico submarino entre Francia y Argelia e imaginó en esa ocasión varias interesantes innovaciones (1).

En 1866, construyó, con anterioridad a WHEATSTONE, una máquina dinamoeléctrica sin imán permanente, basada en la observación de FARADAY que un núcleo de hierro dulce en movimiento en la bobina basta para producir fenómenos de inducción. (Véase GRAMME).

En 1877, realizó interesantes experiencias para determinar la velocidad de la corriente en los hilos eléctricos (2), como ya lo habían hecho pocos años antes WHEATSTONE (1834)) (véase), WEBER y R. KOHLRAUSCH (1857) y KIRCHHOFF.

---

(1) FIGUIER. Merveilles de la Science. t. II. pág. 195-208-217 y sgts.
(2) Année Scientifique 1877. pág. 81.

En 1879, patentó su primer ferrocarril eléctrico. Agreguemos, en fin, que indicó un método especial para medir la capacidad eléctrica de los conductores; construyó una brújula de tangentes (1), un alcohómetro registrador, un ozonizador para la depuración de las aguas; perfeccionó la pila de DANIELL, reemplazando el vaso poroso por celulosa (1869) y perfeccionó el electrómetro capilar de LIPPMANN (1874).

CARLOS GUILLERMO SIEMENS, que nació en Lenthe en 1823 y murió en Londres en 1883, fué desde los veinte años, el representante de su hermano Ernesto en Inglaterra. También tiene inventos propios tales como una máquina de vapor regenerado (2) (1847), un contador de agua (1851), un pirómetro termoeléctrico (1860) y el batómetro.

En su máquina de vapor generado, dos pequeños cilindros suplementarios colocados al lado del cilindro principal reciben el vapor después que éste haya realizado su trabajo principal y lo vuelven a calentar. Los pistones de los tres cilindros ejercen su acción en un émbolo común.

Entre los otros hermanos Siemens, recordaremos a FEDERICO, que inventó un horno de recuperación del calor (1856) muy empleado en las fábricas de vidrio.

---

(1) CHWOLSON t. XI. pág. 571
(2) FIGUIER. "Merveilles de la Science" t. I. pág. 146.

DESAINS
(1817-1885)

Rotación magnética de los rayos caloríficos. Polarización por difusión exterior en superficie mate. Polarización por emisión en los rayos infrarrojos.

FRANCISCO EDUARDO DESAINS nació en San Quentín en 1817 y murió en París en 1885.

Estudió en el "Liceo Luis el Grande" y a su salida, a los 17 años, conquistó el primer premio de física en el Concurso General de los Liceos de París. Ingresó en la Escuela Normal, donde conoció a DE LA PROVOSTAYE, quien en aquella época era vigilante de la Escuela y debía ser más tarde su amigo y colaborador. En 1839, Desains era profesor en Caen; luego lo fué en el Colegio Estanislao de París, en el Liceo San Luis y, en 1844, reemplazó a PROVOSTAYE en el Liceo Condorcet. En 1853, su fama de profesor y de sabio lo indicó como sucesor del célebre físico belga DESPRETZ, en la cátedra de física en la Sorbona.

En 1873, en fin, las puertas de la Academia de Ciencias le fueron abiertas después de conocerse sus trabajos sobre el calor radiante.

Desains es el continuador de los LAMBERT, LESLIE, MELLONI, TYNDALL y, en los trabajos relativos al poder emisivo, al poder absorbente, al calor de fusión del hielo, a la polarización, a la reflexión y a la difusión del calor, su nombre siempre figura entre los de los experimentadores más felices.

En 1849, DE LA PROVOSTAYE y Desains confirmaron el descubrimiento de WARTMANN (1846) de la rotación magnética de los rayos caloríficos.

DE LA PROVOSTAYE y Desains fueron los primeros en estudiar, en 1852, la polarización por difusión exterior de los rayos en una superficie mate (1) y Desains observó la polarización por emisión en los rayos infrarrojos.

(1) CHWOLSON, t. V, pág. 93.

Desains fué víctima de la ciencia y de su patriotismo, pues murió de reumatismo, enfermedad adquirida durante el sitio de París en 1870, pasando días enteros en una pequeña barca en el Sena para tratar de comunicarse con el exterior de la ciudad aprovechando el agua como conductor eléctrico.

JAMIN
(1818-1886)

Polarización elíptica. Refractómetro interferencial. Capacidad calorífica de los gases. Comprobación de la teoría de AMPERE. Imanes de láminas. Estudio del arco. Mechero. Válvula de corriente.

JULIO CELESTINO JAMIN nació en la aldea de Termes, en las Ardenas Francesas, en 1818, y murió en París en 1886.

Ingresó a la Escuela Normal, a la edad de veinte años, egresando tres años más tarde como agregado de ciencias físicas.

Fué sucesivamente profesor en Caen, donde reemplazó a DESAINS, en el Liceo Condorcet y en el Liceo Luis el Grande, en la Escuela Politécnica (1852) y en la Sorbona (1863). En 1868, fué elegido miembro de la Academia de Ciencias y, en 1884, reemplazó a DUMAS como Secretario perpetuo de esa asociación.

Jamin fué ante todo físico, pero no fué unilateral y mientras conquistaba justa fama en esta ciencia, por sus descubrimientos y por su talento de profesor, se hacía respetar por su erudición en ciencias naturales y su pericia en pintura y música.

Sus principales trabajos de física, interesan la óptica, el magnetismo y la electricidad.

En 1847, presentó una importante tesis de doctorado en ciencias: "Sobre la Reflexión de la Luz en la Superficie de los Metales".

Hemos visto que FRESNEL, al estudiar la reflexión total, descubrió y explicó la polarización elíptica. AIRY, en 1833, observó que la luz reflejada por muchas substancias no se polariza en línea recta sino elípticamente y consideró que esta observación no concordaba exactamente con las fórmulas de FRESNEL. Jamin, desde 1840, estudió experimentalmente la cuestión y llegó a probar que la observación de AIRY era exacta y no excepcional, sino general, pues en la reflexión de la luz en substancias vidriosas o en metales hay una diferencia de fase, debida a un retraso de la luz reflejada con relación a la polarizada perpendicularmente, lo que es causa de la polarización elíptica de la luz reflejada.

Jamin, por otra parte, creía en la exactitud de la teoría ondulatoria de NEUMANN. CAUCHY, el maestro de Jamin, y otros han demostrado matemáticamente que se pueden poner de acuerdo las observaciones de AIRY y Jamin con las fórmulas de FRESNEL.

En 1850, Jamin perfeccionó y explicó la teoría del compensador de BABINET (1849) como polarímetro.

Estudió mucho también el fenómeno de las interferencias y dejó dos interesantes aparatos.

El primero (1856) produce las interferencias por un método análogo al de los espejos de FRESNEL. Se hacen pasar los rayos de un punto luminoso por dos láminas de cristal de caras paralelas, que forman entre sí un pequeño ángulo; luego se hacen pasar los rayos por una lente detrás de la cual se coloca una pantalla a distancia conveniente. En la imagen formada en la pantalla se observarán las interferencias, pues las láminas han hecho seguir por la luz dos caminos ligeramente diferentes como en el caso de los espejos de FRESNEL. Entre los muchos perfeccionadores o modificadores de ese refractómetro de Jamin, debemos recordar a QUINCKE quien imaginó platear las caras exteriores de los cristales.

Agreguemos en fin que los interesantes experimentos de MICHELSON (1881) sobre la inmovilidad del éter, experiencias básicas de la teoría de la relatividad de EINSTEIN, fueron realizados con el refractómetro interferencial de Jamin.

En el segundo aparato de interferencias de Jamin, los rayos luminosos de una misma fuente recorren caminos distintos al pasar por varias láminas de cristal sobrepuestas, como en los experimentos de BREWSTER (desde 1815).

En óptica, se recuerda aún la determinación hecha por Jamin del índice de refracción del agua a presiones distintas.

En el estudio del calor, este sabio se ocupó especialmente de la capacidad calorífica. Perfeccionó el método de FAVRE y SILBERMANN para el agua, e imaginó un método propio para los gases. Este método, que pertenece a Jamin y a RICHARD (1), tiene por fin calcular la magnitud K de un gas, o sea la relación existente entre su capacidad calorífica a presión constante y la misma a volumen constante.

En electricidad y magnetismo, Jamin ha dado también pruebas de su gran actividad.

Se ocupó de la comprobación práctica de la teoría de AMPERE. Demostró que no está en contradicción con esta teoría el hecho de que los polos de un imán no se encuentran, como en los solenoides, en sus mismos extremos, sino a una distancia que aumenta con el diámetro de la barra imantada (2).

Perfeccionó los imanes de lámina usando láminas finas fijadas en piezas de hierro dulce, e inventó así, en 1873, los conocidos "imanes Jamin" (3), acerca de los cuales hizo una serie de experiencias y de demostraciones teóricas de mucho valor.

---

(1) CWOLSON t. VI. pág. 240.
(2) GANOT pág. 687.
(3) GANOT pág. 685.

Realizó infinidad de experiencias sobre la luz voltaica en colaboración con ROGER, MANEUVRIER y BOUTY (1).

Con el primero estableció que el arco alterno se apaga y se enciende a cada alternancia (2). Con MANEUVRIER, demostró que, en un arco, la corriente pasa más fácilmente de un carbón grueso a otro fino que inversamente, lo que permite formar una verdadera válvula en un arco alterno, que deja pasar la intensidad en un sentido determinado (2).

Para impedir la rápida combustión de los carbones del arco voltaico, Jamin y MANEUVRIER (3) realizaron muchos experimentos . Observaron el arco en el vacío y en gases distintos. En el sulfuro de carbono, por ejemplo, observaron que se producía una luz muy viva de color verdoso y un arco muy largo pero poco persistente. Imaginaron encerrar el arco en vaso cerrado de modo que una vez realizada la combustión del oxígeno del aire contenido, sólo quedara el nitrógeno y se conservaran mejor los carbones (4).

En todos estos experimentos se empleaban los "mecheros Jamin" (5), perfeccionamiento del arco de JABLOCHKOFF en que los carbones están colocados lado a lado y quedan aislados por el campo de la corriente misma, gracias al dispositivo de los hilos.

Citemos en fin, un aparato de Jamin para medir la absorción de los líquidos por los cuerpos porosos y pulverulentos (6), fenómeno de capilaridad de suma importancia tanto en física como en botánica.

---

(1) EDMUNDO BOUTY (1845-1922) físico francés, doctor en ciencias (1875) reemplazó a DESAINS como profesor de física en la Sorbona (1885). Se ocupó especialmente de electricidad y se recuerdan sus memorias sobre los electrólitos y la cohesión dieléctrica de los gases.

(2) GANOT pág. 827.

(3) JORGE MANEUVRIER (Limoges 1849) físico francés, director del Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias de París.

(4) GANOT. pág. 830.

(5) GANOT pág. 831. Année Scientifique 1880 pág. 100.

(6) CHWOLSON. t. II. pág. 218.

El tratado de física de Jamin ha tenido una fama universal y ha sido empleado durante muchos años no sólo en Francia sino también en el extranjero.

JOULE
(1818-1889)

Motor eléctrico. Saturación magnética Calor de Joule. Equivalente mecánico del calor. Ley de Joule. Ley de capacidad calorífica molecular de un compuesto. Magnetostricción.

JAIME PRESCOTT JOULE nació en Salford en 1818 y murió en Sale, cerca de Manchester, en 1889.

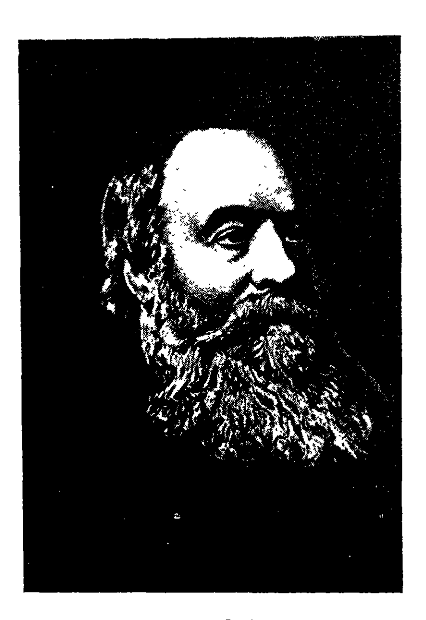
Su padre era dueño de una cervecería donde Jaime trabajó durante algún tiempo. Muy joven, fué discípulo de DALTON, quien tuvo una gran influencia sobre su formación.

Joule empezó a los veinte años sus trabajos originales. Principió por el electro-magnetismo y pasó al calor, teniendo como punto intermedio el estudio de los fenómenos caloríficos de un circuito. En efecto, en 1838, escribió trabajos sobre magnetismo e inventó un motor eléctrico y, en 1840, descubrió el fenómeno de la saturación magnética en los electro-imanes, saturación ya señalada por GILBERT en el imán.

En 1841, empieza su evolución hacia el estudio del calor que debía hacerlo célebre. Descubrió experimentalmente en esa fecha que la cantidad de calor (calor de Joule) desprendida por un circuito cerrado es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, al tiempo y a la resistencia del conductor. Estas investigaciones de Joule, cuyo origen se encuentra en el estudio del calor de la corriente de DAVY, OHM y FECHNER, fueron completadas, en 1843, por EDMUNDO BECQUEREL y por

LENZ, en 1844, mientras que CLAUSIUS les dió una explicación teórica, en 1852 (1).

Joule empezó sus célebres experimentos de termodinámica en 1840 y tres años más tarde presentó a la Asociación Británica de Cork una memoria titulada: "Sobre los Efectos Caloríficos de la Electricidad Magnética y el Valor Mecánico del Calor".



JOULE

Con estas fechas fijamos algunos jalones más de la interesante historia de la termodinámica, capítulo y fundamento de la ciencia energética que tanta influencia ha ejercido y ejerce sobre las ciencias desde la segunda mitad del siglo XIX y cuyo estudio hemos empezado al hablar de SADI CARNOT y de MAYER (véanse).

(1) Véase la biografía de LENZ; véase CHWOLSON, t. X, pág. 184 y sgts.; GANOT, pág. 632.

La termodinámica está basada en dos grandes principios: el primero, que deriva de los trabajos de MAYER (1842), Joule (1843) y HELMHOLTZ (1847), establece que el calor es el movimiento de los últimos elementos de los cuerpos, que la energía es indestructible y que todas las formas de esta energía son equivalentes entre sí y al trabajo. El segundo principio ha derivado de los trabajos de CARNOT (1824) que estableció que el calor debe pasar de una fuente caliente a una fuente fría para poder producir trabajo, y este principio, ampliado especialmente por CLAUSIUS (1850) y LORD KELVIN (1851) "nos enseña", como dice HENRI POINCARE, "que el mundo tiende hacia un estado final del que no podrá apartarse".

La influencia de Joule se ha hecho sentir pues sobre el que llamamos "primer principio de la termodinámica" aunque sea el segundo en el orden cronológico.

Joule midió experimentalmente el equivalente mecánico del calor por el experimento siguiente (1): En un calorímetro de agua giraba un eje vertical provisto de paletas. Su movimiento era causado por la caída de dos pesas que ejercían simultáneamente su acción, por intermedio de una polea, sobre cordones arrollados alrededor del eje de rotación. El producto de la suma de las pesas por su altura de caída daba el valor del trabajo y como este trabajo era destruído por la resistencia del agua, la cantidad de calor registrada por el calorímetro era su equivalente. Bastaba pues dividir el valor del trabajo por el número de calorías para conocer el equivalente mecánico de una caloría.

Joule encontró así que:

$$E = 424.30 \frac{\text{kilográmetros}}{\text{gran caloría}}$$

Reemplazando el agua por mercurio, obtuvo el valor de 424.37.

Hizo frotar el eje de rotación contra un metal dentro del calorímetro de agua o mercurio y obtuvo resultados análogos.

(1) CHWOLSON t. VII. pág. 17; GANOT pág. 319.

tión estudiada por FONTANA (1831), GOVI (1866), DUTER (1878) y otros (1). Encontró así en un tubo de hierro un a'argamiento de cerca de 1 ½ milímetros al ser colocado en el campo magnético. KIRCHHOFF y otros sabios estudiaron esos fenómenos de "magnetostricción" (2).

Joule no fué solamente experimentador, edificó también teorías para explicar sus observaciones. Comparó la fuerza latente a la fuerza de un resorte; generalizó el concepto mecánico del calor-movimiento a los fenómenos de fusión, cohesión y evaporación. Quiso explicar la causa del calor por fenómenos eléctricos, generadores de movimientos atómicos; luego, abandonando esta teoría, creyó encontrar esta causa en la teoría cinética de los gases.

Pero la obra teórica de Joule no tiene mayor valor científico y no agrega nada a su magnífica obra experimental.

---

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 292.
(2) CHOLSON, t. XI, pág. 409.

FOUCAULT
(1819-1868)

Daguerreotipía. Fotografía microscópica. Regulador del arco voltaico. Interferencias del calor. Observación espectroscópica de las interferencias. Precursor del análisis espectral. Método físico de medida de la velocidad de la luz. Velocidad de la luz en el agua. Demostración del movimiento de la Tierra. El giroscopio. "Corrientes de Foucault". Interruptor del carrete de RUHMKORFF. Fotómetro. Helióstato. Espejos parabólicos de telescopios. Prisma de NICOL.

LEON FOUCAULT nació en París en 1819 y murió en la misma ciudad en 1868.

Era hijo de un librero-editor parisiense; hizo sus estudios de medicina, pero, poco antes de doctorarse, abandonó su carrera para dedicarse al estudio de las ciencias físicas y particularmente de la óptica.

La obra más intensa y más interesante de Foucault pertenece a la década que se extiende de 1845 a 1855.

En 1844, inició su carrera científica con estudios sobre la daguerreotipía, en colaboración con FIZEAU; y, en los diez años siguientes, perfeccionó el arco voltaico, inventó su regulador, demostró el movimiento de la Tierra por medio del péndulo, determinó la velocidad de la luz en el aire y en el agua por un método físico, y estudió las "corrientes de Foucault".

En 1855, se creó, especialmente para él, el cargo de físico en el Observatorio de París; entró en la Oficina de Longitudes; la Sociedad Real de Londres le otorgó la medalla de Copley, y la Academia de Ciencias de París le abrió sus puertas (1865).

Siguiendo por el orden histórico la obra recién esbozada, vemos que Foucault empezó su carrera científica con algunos perfeccionamientos de la daguerreotipía en colaboración con FIZEAU. Recordando sus estudios anterio-

res, Foucault aplicó la daguerreotipía a la microscopía e inauguró así la fotografía microscópica, y estudiando esta misma cuestión, pensó en emplear el arco voltaico para las observaciones microscópicas y de allí pasó al perfeccionamiento del arco.

En 1844, DELEUIL (1) realizó el primer ensayo de alumbrado público con electricidad, colocando un arco de DAVY perfeccionado por Foucault, en medio de la plaza de la Concordia en París (2).

Este primer perfeccionamiento del arco voltaico debido a Foucault consistía simplemente en la disposición general y en el hecho de no considerar necesario colocar los carbones en el vacío como lo hacía DAVY. Pero la rápida combustión del carbón positivo provocaba la extinción por separación de los carbones y, para evitar ese inconveniente, en 1849, el inglés STAÏTE y León Foucault inventaron simultáneamente reguladores automáticos, muy parecidos (3).

En 1847, en colaboración con FIZEAU, Foucault estudió las interferencias del calor con espejos de FRESNEL, colaborando así a la demostración de la analogía entre los rayos caloríficos y los rayos luminosos, demostrada en la reflexión, la refracción, la polarización, por los trabajos de RUMFORD, LESLIE, MELLONI, TYNDALL, y, en las interferencias, por MATTEUCCI (1833).

Para el análisis espectral de las interferencias, Foucault y FIZEAU adoptaron un dispositivo especial de los espejos de FRESNEL (4). Hemos visto ya que, en 1849, Foucault encontró que las rayas claras del espectro del arco voltaico se volvían muy oscuras cuando se hacía penetrar

---

(1) LUIS JOSE DELEUIL (Aix 1744-París 1862), mecánico francés de preparación científica limitada, se hizo célebre por sus balanzas de gran sensibilidad, por sus aparatos de fotografía y de alumbrado eléctrico y por su bomba neumática de un solo cuerpo.

(2) Véase la historia del alumbrado eléctrico en la biografía de EDISON.

(3) Véase el regulador de FOUCAULT en GANOT, pág. 829 o en FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. IV, pág. 216 y sigtes.

(4) Véase el dispositivo imaginado por FOUCAULT y FIZEAU, en CHWOLSON, t. IV, pág. 415.

luz solar, y dedujo de allí que si emite rayos D propios en su espectro, los absorbe cuando provienen de otra fuente luminosa. Foucault estuvo allí muy cerca del descubrimiento de la ley de KIRCHHOFF y BUNSEN (véase), pero él mismo reconoció no haber descubierto en su observación la generalidad de la ley necesaria para la conquista científica. Hemos citado (véase BUNSEN) las palabras mismas de Foucault en las cuales, con modestia de verdadero sabio, reduce en exceso su participación en el gran descubrimiento del análisis espectral. Algunos historiadores, sin embargo, pretendieron oponer su nombre a los de KIRCHHOFF y BUNSEN, de quienes fué un valioso precursor, tal vez el más inmediato precursor.

En 1849-50, Foucault empezó sus célebres experimentos sobre la determinación de la velocidad de la luz por el método físico de los espejos giratorios. El principio de este método se debe, como lo hemos visto, a ARAGO quien, en 1838, lo describió como proyecto para comprobar la teoría de las ondulaciones, basándose en un método parecido empleado por WHEATSTONE para determinar la velocidad de la electricidad.

FIZEAU también se había ocupado de la misma cuestión y CORNU, que dilucidó este punto histórico, propuso llamar al método del espejo giratorio: "método de Foucault-Fizeau". No nos detendremos en describir esos conocidos métodos, ampliamente estudiados en los textos (1), y sólo recordaremos que, en el maravilloso aparato empleado por Foucault, el espejo daba 800 vueltas por segundo y que los numerosos experimentos realizados por este sabio, de 1849 a 1862, le dieron el valor de 298.000 kms./seg. como velocidad de la luz, mientras que: FIZEAU (1849), con el método de la rueda dentada, obtenía el valor de 315.364 kms./seg.; YOUNG y FORBES, con el método FIZEAU, 301.382 kms./seg.; CORNU (1900), con el método de FIZEAU, 300.180 kms./seg.; MICHELSON (1882),

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 321; WATSON, pág. 491; "Année Scientifique" 1862", pág. 32 a 54.

con el de Foucault, 299.853 kms./seg.; NEWCOMB (1885), con igual método, 299.860 kms./seg.

En 1854, Foucault determinó la velocidad relativa de la luz en el aire y en el agua y demostró que esta velocidad es mayor en el aire. Esta determinación fué el epílogo de la larga discusión entre los partidarios de la teoría de las emisiones y los de la teoría de las ondulaciones. En efecto, según la teoría de las emisiones la velocidad de la luz debe ser proporcional al índice de refracción del medio, y, por consiguiente, en el agua, debe ser mayor que en el aire, ya que es mayor el índice de refracción del agua. La teoría de las ondulaciones, al contrario, demuestra que la velocidad de la luz es inversamente proporcional al índice de refracción y exige, por consiguiente, que esa velocidad sea mayor en el aire que en el agua, como lo demostró Foucault (1).

En 1851, Foucault imaginó su célebre demostración física del movimiento de rotación de la Tierra por medio del péndulo y la realizó en el conocido experimento del Panteón de París (2).

En esta experiencia, Foucault aplicó al movimiento de la Tierra, el principio de conservación del plano de rotación, demostrado por EULER (1758) quien también lo amplió al plano de oscilación del péndulo (véase EULER). Deben señalarse aquí los importantes trabajos que HANSEN (1853) y especialmente KAMMERLINGH ONNES (1879) realizaron acerca de pequeñas correcciones al método de Foucault.

Poco después (1852), siguiendo indicaciones del matemático POINSOT, Foucault inventó el giroscopio. Este aparato interesó vivamente el mundo científico y no faltaron las discusiones acerca de la prioridad del invento, haciéndose valer especialmente los derechos de BOHNENBERGER, quien, en 1817, había inventado ya varios dispositivos para estudiar el principio de conservación del pla-

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 225 y 324; GANOT, pág. 565 y 383.
(2) GANOT, pág. 95; BORDEAUX, obra citada, pág. 38.

no de rotación. Foucault estableció las leyes principales del giroscopio y éstas fueron comprobadas por PLUCKER (1).

Es justo también recordar aquí, al lado del nombre de Foucault, el de FROMENT (2), el habilidoso y sabio constructor del giroscopio, del péndulo y del espejo giratorio empleado por Foucault.

En 1855, Foucault publicó su memoria acerca del "Calor Producido por la Influencia de un Imán sobre los Cuerpos en Movimiento", en que estudió su observación de que un disco de cobre que gira entre los polos de un imán se calienta y luego resiste al movimiento de rotación. De allí proviene el nombre de "corrientes de Foucault", pero debemos recordar que esta cuestión, cuyo origen se encuentra en una experiencia de GAMBEY, fué planteada científicamente por ARAGO (véase) y dió origen a los estudios de FARADAY (1832) y de NOBILI (1832-38). En cuanto al calor producido no es sino el "calor de JOULE" del cual hemos hablado al estudiar a ese sabio, y fué explicado, en el caso particular por POGGENDORFF. Es con cierta razón pues que los historiadores extranjeros discuten la justicia de la designación de "corriente de Foucault" adoptada por los textos franceses.

Como otros rasgos sobresalientes de la profícua obra de Foucault citaremos su invento del interruptor de la bobina de RUHMKORFF (3), su fotómetro (4), su helióstato (5), su "método de los toques" para la construcción de espejos parabólicos para telescopios (6), su indicación de que se puede suprimir el bálsamo de Canadá en los prismas de NICOL y, en fin, su colaboración en el estudio de muchos de los capítulos clásicos de la óptica.

---

(1) BORDEAUX, obra citada, pág. 39; PITONE, "Storia della Física", pág. 136.

(2) Véase la biografía de FROMENT, en nota a CASELLI, para quien construyó el "pantelégrafo".

(3) FIGUIER, obra citada, t. I, pág. 729; GANOT, pág. 728.

(4) GANOT, pág. 419; CHWOLSON, t. IV, pág. 245.

(5) CHWOLSON, t. IV, pág. 315.

(6) GANOT, pág. 446 y 516.

POITEVIN
(1819-1882)

Perfeccionamiento de la fotografía: la gelatina, impresiones al carbón, fotolitografía, grabado heliográfico. Fotografía en colores.

Después de NIEPCE, DAGUERRE y TALBOT se debe recordar el nombre de ALFONSO POITEVIN, en la historia de la fotografía.

Nació en Conflans en 1819 y murió en la misma ciudad en 1882.

Hijo de un fabricante de géneros, su educación dirigida hacia la industria, fué buena y completa. Es así que, en 1843, salió de la Escuela Central de Artes y Manufacturas de París, con el título de ingeniero. Durante siete años ejerció su profesión sucesivamente en las salinas del Este de Francia y en una fábrica de Lyon; luego vino a París donde se hizo célebre por sus descubrimientos en fotografía. A pesar de sus éxitos debió volver a su profesión en 1869, pues sus inventos no le daban un rendimiento suficiente. Fué ingeniero en una fábrica de vidrios, en una compañía minera de Africa, en una fábrica de alumbre en Auvernia y, en 1876, se retiró en una pequeña propiedad donde terminó tranquilamente su vida.

Los descubrimientos de Poitevin están descritos en su "Tratado de la Impresión Fotográfica sin Sales de Plata" que publicó en 1862.

En 1855, Poitevin descubrió que las materias gelatinosas bicromatadas expuestas a la luz, tienen la propiedad de mantener la tinta de imprenta. Se pensó inmediatamente en emplear este procedimiento para sacar impresiones positivas, inventándose así los positivos al carbón (1).

Poitevin pensó entonces en fijar la gelatina cromada sobre la piedra de litografía de modo que el positivo así

(1) GANOT, pág. 553; FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. III, pág. 67-99.

producido pueda servir de "clisé" e inventó así la fotolitografía (1).

Otro perfeccionamiento del mismo principio ha sido el "grabado heliográfico" que se consigue del modo siguiente: Se impresiona una capa de gelatina cromatada, se sumerge en agua, y las partes no influenciadas por la luz se hinchan por la acción del agua mientras que las otras permanecen en su estado natural. Con esta chapa en relieve se saca un molde de yeso que, por galvanoplastía, puede ser transformado en un clisé de cobre que da muy buenas impresiones.

El problema de la fotografía en colores interesó también a Poitevin (2). Esta cuestión había ya preocupado a EDMUNDO BECQUEREL, quien, en 1848, llegó a reproducir los colores del espectro solar en una chapa de plata expuesta a la acción del cloro, como ya lo habían aconsejado SEEBECK, JOHN HERSCHEL y HUNT (3). NIEPCE DE SAINT VICTOR continuó esos experimentos, pero Poitevin, en 1866, quiso reemplazar la chapa de plata por papel. Observó que si se cubre cloruro de plata violeta con bicromato de alcalinos, ácido crómico o nitrato de uranio, el cloruro reproduce los colores de un dibujo con que se cubre el papel antes de exponerlo al sol o a la luz difusa. El gran defecto de este procedimiento, como de todos los que se habían ideado anteriormente, era la poca duración de las impresiones.

Poitevin ha aportado a la fotografía muchos otros perfeccionamientos e ingeniosas ideas, que no podemos detallar todos aquí, pues no corresponden ya a la Física sino a la técnica fotográfica (4).

---

(1) FIGUIER, obra citada, t. III, pág. 68.

(2) FIGUIER, obra citada, t. III, pág. 75.

(3) ROBERTO HUNT (Plymouth 1807-Chelsea 1887), físico y mineralogista inglés; fué profesor de la Escuela Real de Minas; se destacó en el estudio de la ación química de los rayos solares y de la fotografía de colores.

(4) FIGUIER, obra citada, págs. 100, 110 y sgts. 114 y 134.

FIZEAU
(1819-1896)

Estudio de las interferencias en el espectroscopio (con FOUCAULT). Interferencia de los rayos caloríficos (con FOUCAULT). Comprobación del arrastre del éter y de la fórmula de FRESNEL. Dilatación irregular de los cristales. Condensador de láminas de estaño.

HIPOLITO LUIS FIZEAU, que ARAGO consideraba el continuador de FRESNEL en la ciencia francesa, nació en París en 1819 y murió en Venteuil (Departamento de Sena y Loire) en 1896.

Perteneciente a una familia de distinguidos naturalistas e hijo de un afamado médico que le dejó una gran fortuna, Fizeau prefirió a una vida tranquila y ociosa, las incomparables satisfacciones que prodiga el estudio.

Ya a la edad de veinte años, realizó desinteresadamente investigaciones de daguerreotipía y de allí pasó al estudio de la óptica general.

En 1847, en colaboración con FOUCAULT (véase), realizó el análisis espectral de interferencias luminosas por medio de un dispositivo propio (1) y colaboró eficazmente en el estudio general de la energía radiante con la obtención y el estudio de las interferencias de los rayos infrarrojos.

En 1849, imaginó su método físico de la medida de la velocidad de la luz. No describiremos aquí el bien conocido método de Fizeau; sólo recordaremos que la rueda dentada que empleaba tenía 720 dientes, la distancia entre el puesto de observación y el espejo de reflexión era de 8 km.633 y la luz desaparecía cuando se daba una velocidad de 12.6 vueltas por segundo a la rueda dentada. El resultado obtenido fué aproximadamente de 313.300 kilómetros por segundo (2).

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 414.
(2) WATSON, "Curso de Física", pág. 489.

Según un trabajo de CORNU, discípulo de Fizeau y continuador de su obra, Fizeau también colaboró en la realización del método de física de FOUCAULT, que debería llevar los nombres de estos dos sabios.

CORNU perfeccionó el método de Fizeau y trató de hacer concordar los resultados de las determinaciones obtenidas por los dos métodos físicos (véase Foucault).

En 1851, Fizeau se ocupó de una cuestión que en nuestros días acaba de adquirir gran importancia con el estudio de la teoría de la relatividad de EINSTEIN; se trata de la hipotética influencia del movimiento de los cuerpos sobre el éter.

Hemos visto que FRESNEL (véase) creía en la inmovilidad del éter, pero que admitió, en 1818, que este flúido es arrastrado por los cuerpos refringentes en movimiento con una velocidad:

$$u = \frac{n^2 - 1}{n^2} v$$

siendo n el índice de refracción del cuerpo y v su velocidad.

Fizeau comprobó la fórmula de FRESNEL por medio de un aparato ingenioso en el cual los rayos de luz atraviesan longitudinalmente un tubo que un tabique divide en dos reparticiones, en las cuales el agua elevada a presión circula en sentidos opuestos. Observando la luz al otro extremo del tubo se registran interferencias, pues mientras en una repartición la velocidad de la luz aumenta a causa del movimiento del agua, disminuye en la otra repartición por la misma causa. Según ZEEMAN y LORENTZ este experimento de Fizeau, comprobado por MICHELSON y MORLEY en 1878, no demostraría que el éter es arrastrado por los cuerpos refringentes sino que éstos sólo arrastran las ondas luminosas del éter inmóvil (1).

En 1864, Fizeau aplicó las interferencias al estudio de la dilatación irregular de los cristales descubierta por MITS-

(1) Véase la biografía de LORENTZ.

CHERLICH (1) en 1823, e inventó con tal objeto su dilatómetro de sólidos que determina la dilatación de un cristal por las variaciones de los anillos de NEWTON producidos al colocarlos sobre un plano de vidrio (2). ABBE perfeccionó ese dilatómetro (1889) midiendo las variaciones con el microscopio.

En electricidad, el nombre de Fizeau se recuerda por su condensador de láminas de estaño que aplicó a la bobina de RUHMKORFF, aumentando así considerablemente sus efectos.

La carrera científica de Fizeau ofrece pocos acontecimientos dignos de mención. En 1849, fué condecorado con la Legión de Honor; en 1856, su determinación de la velocidad de la luz fué premiada por la Academia de Ciencias, a la cual ingresó como sucesor de CAGNIARD DE LA TOUR, en 1860; en 1878, entró en la Oficina de Longitudes. Durante los últimos años de su vida, Fizeau siguió interesándose en el movimiento científico, pero ya no le aportó ningún trabajo original.

---

(1) EILARDO MITSCHERLICH (Neuende, Oldemburgo. 1794-Schoeneberg 1863), químico alemán, era profesor de la Universidad de Berlín y miembro de las Academias de Ciencias de Berlín y de París. Es conocido especialmente por su ley de isomorfismo. En física, podemos citar, además de lo dicho más arriba, su estudio del análisis espectral, su estudio de la dilatación de los cristales al cual ya hemos hecho referencia (véase FRESNEL) y su perfeccionamiento del goniómetro de WOLLASTON.

(2) CHWOLSON, t. VI, pág. 101.

STOKES (1)
(1819-1903)

Aplicación del péndulo a la investigación de la forma de la Tierra. Resistencia del aire al movimiento del péndulo. Estudio de la fluorescencia. Movilidad del éter. Precursor de KIRCHHOFF y BUNSEN en el "análisis espectral". Explicación de los rayos X.

JORGE GABRIEL STOKES, célebre físico y matemático británico, nació en Skreen, en el condado de Sligo (Irlanda), en 1819, y murió en 1903.

Inglaterra consideró a Stokes como una de sus mayores glorias y todos los honores académicos le fueron tributados. Durante casi setenta años (1837-1903), actuó en Cambridge y se hizo admirar y querer por sus numerosos colegas y estudiantes, por sus excepcionales cualidades de sabio y de hombre.

Su modestia era tal, y daba tan poca importancia a su propia obra, que muchos de sus más profundos estudios de física matemática no le parecían merecer más que pocas líneas de comunicación en las columnas de una revista universitaria, y que muchas veces fueron algunos de sus admiradores — entre ellos KELVIN y RAYLEIGH — quienes dieron a conocer, por conferencias o artículos, descubrimientos que Stokes mantenía en silencio. Pero era más admirable aún observar cómo este desprecio por sus propios esfuerzos contrastaba con el entusiasmo con que se interesaba en los trabajos de otros sabios y con que los alentaba en sus propósitos.

Stokes, como tantos otros sabios anglo-sajones, era sumamente religioso y, a la par de FARADAY, se entregaba con ardor a la predicación. Llegaba hasta introducir verdaderos sermones en sus obras de ciencia pura, como en su conocido "Tratado sobre la Luz" (1887) que termina con un

---

(1) M. BRILLOUIN. "Sir George Stokes", Rev. Génér. des Sciences, 1904, pág. 22.

exaltado cántico de alabanza al Creador y a la perfección de su obra.

No podemos hablar aquí de las numerosas memorias de física matemática de Stokes y sólo recordaremos que las cuestiones que sometió al análisis matemático se relacionan especialmente con la mecánica de los flúidos (hidrodinámica, vibraciones sonoras en condiciones especiales, roce interior, etc.), con la acústica y con la óptica (teoría dinámica de la difracción, aberración de la luz, teoría de la doble refracción, arco iris, etc.).

Entre esos estudios, señalemos especialmente su intervención en el del problema de la aplicación del péndulo a investigaciones sobre movimiento y forma de la Tierra, problema tratado por HUYGHENS, CLAIRAUT (1743), BOUGUER (1749), DELAMBRE (1810), BORDA (1817), BESSEL (1828), y en el cual Stokes, en 1848, amplió el teorema de CLAIRAUT sobre la relación entre la gravedad y la forma de la Tierra.

Indiquemos aún su estudio de la resistencia del aire al movimiento del péndulo, cuestión que hemos seguido desde GALILEO y NEWTON, con D. BERNOULLI (1729), EULER (1761), COULOMB (1784), POISSON (1808) (véase) y AIRY (1830), y cuestión de la que se ocupó Stokes en 1851 pero que fué más ampliamente resuelta por O. E. MEYER, en 1871.

En óptica, puede recordarse también su estudio de la penetración de la luz en las superficies reflectoras, que NEWTON y FRESNEL habían tratado.

Un hecho verdaderamente curioso es que tres de las grandes cuestiones que nacieron y evolucionaron durante su larga carrera científica: la termodinámica, las teorías eléctricas y las teorías moleculares, no parecen haberlo preocupado, pues en la larga lista de sus obras (de 1842 a 1901) no figura ninguna memoria al respecto.

Durante mucho tiempo, el nombre de Stokes fué recordado en física exclusivamente por su estudio de la fluorescencia y especialmente por el establecimiento de la "ley

de Stokes", pero en estos últimos tiempos adquirió además gran importancia su concepto del éter móvil.

Hemos visto ya que HERSCHEL fué el primero en estudiar científicamente la fluorescencia, ya observada por HAUY, y que le dió el nombre de "difusión epipólica"; que BREWSTER demostró que la fluorescencia no se produce sólo en la superficie del cuerpo y por lo tanto le cambió el nombre dado por HERSCHEL por el de "difusión interior". Stokes empezó el estudio de este fenómeno en 1851 y le dió el nombre de "fluorescencia" por haber sido observado primero en la fluorina, aunque él se sirviera, como BREWSTER, de soluciones de sulfato de quinina.

Stokes observó, como sus predecesores, la coloración de la fluorescencia, su mayor localización superficial, la desigual facultad de producirla de las distintas fuentes luminosas y se detuvo especialmente en el hecho de que la luz solar pierde esta facultad después de haber atravesado una primera capa de la solución.

Es este último hecho el que hizo pensar a Stokes que la fluorescencia es el resultado de un cambio del período de la luz incidente.

Stokes, que a pesar de ser físico-matemático era además un hábil experimentador, imaginó varios dispositivos para comprobar su hipótesis. Observó un cuerpo fluorescente con vidrios de colores y vió que su efecto es muy distinto si el vidrio intercepta los rayos fluorescentes, lo que comprueba una modificación de la refrangibilidad, por el cambio de longitud de onda.

Sometió el fenómeno al estudio espectroscópico y observó que los rayos que producen la fluorescencia son los de período corto: azules, violetas y ultravioletas, mientras que los rayos fluorescentes son de período más largo.

La fluorescencia aumenta, pues, el período y transforma los rayos invisibles (ultra-violetas) en rayos visibles. Stokes multiplicó entonces los experimentos y buscó una infinidad de aplicaciones teóricas y prácticas de su descubrimiento: estudio de la dirección de la vibración de la luz

polarizada, estudio del espectro ultra-violado sin necesidad de la fotografía, etc.

Observó además que la fluorescencia tiene la misma intensidad en todos sentidos; que esta intensidad es proporcional a la intensidad incidente; que la fluorescencia no cesa inmediatamente cuando desaparece la luz que la provoca; y determinó el tiempo que demora en apagarse, por medio del método del espejo giratorio.

Stokes buscó entonces la explicación teórica del fenómeno o sea el mecanismo del alargamiento del período de la luz incidente por las substancias fluorescentes. Creyó primero encontrar esta explicación en la ley de atracción de los átomos en el interior de la molécula, pues consideraba el fenómeno de carácter atómico ya que los cambios moleculares (grado de concentración de la solución, naturaleza del disolvente) no influyen casi sobre la intensidad del fenómeno.

Pero sus propias explicaciones no lo satisfacían y continuó sus estudios de la fluorescencia durante largos años; estableció analogías entre el fenómeno de la fluorescencia y el problema dinámico del cambio de período de un movimiento vibratorio y lo asemejó a otros fenómenos físicos pües "la fluorescencia, que no es sino una fosforescencia muy breve, parece absolutamente semejante al fenómeno que nos es familiar del calentamiento de un cuerpo en el sol y de la emisión correlativa de radiaciones poco refringibles".

De este largo estudio de Stokes nuestros textos de estudio no recuerdan generalmente más que la ley que lleva su nombre:

> "Las radiaciones emitidas por una substancia fluo-
> " rescente poseen longitudes de onda mayores o re-
> " frangibilidades menores que las de los rayos excita-
> " dores, es decir, de las radiaciones absorbidas por
> " dicha substancia" (1).

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 205.

Esta ley no es absolutamente general como se creyó al principio y, ya en 1871, LOMMEL afirmó que existen substancias de fluorescencia anormal (1).

Demostró que la llama del sodio provoca en el rojo de naftalina fluorescencia con menor y con mayor refrangibilidad que los rayos del sodio. EMSMANN creyó oportuno distinguir la fluorescencia "positiva" que sigue la ley de Stokes de la fluorescencia negativa que la contradice.

Pero la afirmación de LOMMEL (2) provocó numerosas discusiones. BOHN (3) trató de poner de acuerdo las observaciones de LOMMEL con la ley de Stokes, atribuyendo el aumento de refrangibilidad al aumento de temperatura. LAMANSKY realizó nuevos experimentos que comprobaban la ley de Stokes. Pero el fenómeno de la termoluminiscencia, la "calorescencia" de TYNDALL (1864) y sobre todo los experimentos de STENGER y los de NICHOLS y MERRIT (1904) daban la razón a LOMMEL.

URBAIN y BRUNINGHAUS, en fin, consideraron todos los casos de luminiscencia como debidos a la presencia en el cuerpo de impurezas (fosforógeno) que tienen vibraciones propias e influyen así sobre el período de la radiación incidente (4).

Estudiaremos nuevamente, con LORENTZ, la cuestión de la movilidad del éter que ya hemos señalado en el estudio de FRESNEL, cuestión que ha adquirido nuevo interés a raíz de la teoría de EINSTEIN.

---

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 205; BORDEAUX, ob. cit., pág. 280.

(2) EUGENIO DE LOMMEL (Edenkoben 1837-Munich 1899), físico alemán que enseñó en su patria y en Suiza. Se dedicó con preferencia a la óptica, en la que se distinguió por una teoría de la dispersión (1879) que tenía como antecedentes la teoría de CAUCHY (1836) con las ampliaciones de CHRISTOFFEL (1862). La teoría de LOMMEL, en la cual trataba, además, de comprender la dispersión anormal y la fluorescencia en una ley general de la radiación, fué confirmada por EBERT (1893) en su ampliación de la teoría de MAXWELL.

(3) JUAN CONRADO BOHN (n. 1831), físico alemán, fué discípulo de REGNAULT, enseñó física en Giessen.

(4) GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", t. II, pág. 189.

Stokes (1845-1846) defendió la hipótesis de la movilidad del éter haciéndole tomar parte en el movimiento de rotación de la Tierra, en oposición a la hipótesis de la inmovilidad defendida por YOUNG y por FRESNEL.

Recordemos aún que hemos visto ya (véase KIRCHHOFF y BUNSEN) que Stokes, después de ANGSTROM, fué predecesor de KIRCHHOFF y estudió especialmente la aplicación a los gases de la afirmación de ANGSTROM de que "los cuerpos incandescentes emiten las radiaciones que absorben cuando su temperatura es más baja". KELVIN consideró por ello a Stokes, como un verdadero fundador del análisis espectral.

En 1896, pocos meses después del descubrimiento de los rayos X, Stokes emitió la opinión de que esos rayos derivan de ondas, de duración total muy breve, y no periódicas.

> "He aquí", dice Stokes, "lo que concibo relati-
> " vamente a la constitución de los rayos Roentgen: una
> " lluvia de moléculas sale del cátodo electrizado y esas
> " moléculas se siguen como las gotas de agua de un
> " aguacero: golpean sucesivamente la pared anticató-
> "dica, y el choque de cada molécula produce en el éter
> " una pulsación en parte positiva y en parte negativa.
> " Se produce así una sucesión indefinida de esas pul-
> " saciones que provienen de los diversos puntos de la
> " región anticatódica no protegida por una pantalla."

De la falta de periodicidad se deduce entonces la falta de difracción y de refracción.

En el curso de esta obra, citaremos todavía varias veces el nombre de Stokes por su eficaz colaboración al estudio de importantes cuestiones de óptica.

RANKINE
(1820-1872)

Su hipótesis sobre la constitución de la materia. Reintroducción del término "energía" y distinción entre "energía actual" y "energía potencial". Su "Energética". Hipótesis de la reconcentración.

GUILLERMO JUAN MACQUORN RANKINE nació en Edimburgo en 1820 y murió en Glasgow en 1872.

Hizo sus estudios en la Universidad de su ciudad natal, pero, desde 1851, ejerció su profesión de ingeniero civil en Glasgow, donde fué profesor de la Universidad y miembro de la Sociedad Filosófica. En 1855, fué elegido miembro de la Sociedad Real de Londres.

Su nombre pertenece exclusivamente a la historia de la termodinámica y Rankine debe ser considerado como uno de los principales fundadores de la energética.

En 1842, o sea a los veintidós años de edad, publicó su primer trabajo original que tenía por título "Ventajas de las Ruedas Cilíndricas".

En 1849, empezó sus célebres trabajos sobre el calor, proponiendo una nueva teoría de la materia. Según ésta, las moléculas giran formando torbellinos y el calor sensible aumenta la velocidad de éstos mientras el calor latente aumenta su órbita.

Fué Rankine quien introdujo en el lenguaje científico los términos de "energía actual" para la energía activa o "cinética" como la llamó KELVIN (1871), y de "energía potencial" para la energía latente (1), recogiendo este término de "potencial" en la obra de DANIEL BERNOULLI.

No se le debe la palabra de "energía" que YOUNG ya empleaba en 1807, cuando, como lo hemos dicho anteriormente, relacionó el concepto de trabajo con la fuerza viva y el calor, pero fué Rankine quien definió la energía como "la capacidad de producir trabajo" y quien volvió a intro-

(1) "La dégradation de l'énergie" por BRUNHES, pág. 244.

ducir esta palabra en la ciencia, en 1852. Debe notarse que esta definición provocó una confusión, pues muchos creyeron que al hablar de indestructibilidad de la energía, era la energía utilizable en trabajo la que se consideraba indestructible.

Basándose en su nueva terminología, Rankine expresó el principio de conservación diciendo que: "La suma de las energías potencial y actual del Universo es constante".

Pero la influencia del sabio escocés no se ha limitado a la comprobación de los experimentos y de las teorías de sus predecesores, ni aún a su explicación o a su ampliación; se ha manifestado de un modo más personal, pues Rankine ha fundado una nueva escuela. Cuando publicó, en 1855, su memoria "Sobre Energética", en la que explicó las nuevas ideas, aislándose de la teoría mecánica del calor, vió a todos los adversarios del mecanismo cartesiano tomar su trabajo como manifiesto del nuevo método científico (1).

En esta "Energética" ya no se estudia sólo la cinemática de la materia como lo quería hacer DESCARTES; pero se considera a la energía como "materia imponderable", como lo hacía MAYER, y se estudia en sus transformaciones como algo real, independiente de la materia ponderable que no es sino su punto de apoyo. Es a la secta, que llamaremos "extremista" de esta escuela, que pertenece OSTWALD, quien considera la energía como la única entidad real a la que el antiguo concepto de materia debe dejar el campo libre.

A Rankine se debe también la teoría — bien hipotética por cierto — de la reconcentración de la energía (2). Ampliando el concepto de degradación de la energía, observado en sistemas aislados, a la energía total del Universo, muchos sabios, entre los cuales figuran CLAUSIUS, BALFOUR STEWART, KELVIN y DUPRE (3), llegaron a

(1) BRUNHES, obra citada, pág. 289 y sigtes.; GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", t. II, pág. 447-456.

(2) BRUNHES, obra citada, pág. 358 y sigtes.

(3) ATANASIO DUPRE (Cerisiers, cerca de Auxerre, 1808-Rennes 1869). Profesor del Liceo de Rennes de 1829 a 1847 y de la Facultad de Ciencias de la misma ciudad, de 1847 hasta su muerte. Se ocupó de

la conclusión de que el mundo debe tener un fin, pues disminuye constantemente la cantidad de energía utilizable. Rankine contestó a esta tan hipotética teoría con otra más hipotética aún: la de la "reconcentración". Según ella, el Universo estaría rodeado por espacios vacíos de éter y la energía degradada podría reflejarse en la superficie que limita el Universo del vacío y concentrarse en ciertos focos volviendo a dar así energía utilizable. CLAUSIUS y VERDET (1) rechazaron esta hipótesis demostrando que en esos focos el calor no podría ser nunca más intenso que en los puntos de donde proviene.

Es curioso pensar que una hipótesis tan vaga, por hermosa que sea, pueda haber sido emitida por el autor de la ecuación general de la termodinámica, en que establece la relación entre el calor y el trabajo cuando el flúido cambia de estado, por el sabio que, en 1859, en su obra "La Máquina de Vapor y otras Máquinas de Presión", supo realizar la difícil teoría termodinámica de las máquinas térmicas. Pero, como dice PICARD, "debe reservarse para el sabio, el derecho de ser poeta alguna vez..."

---

matemáticas superiores, física y química, pero, desde 1860, la teoría mecánica del calor lo preocupó especialmente. Colaboró a la generalización del primer principio de la termodinámica a todos los fenómenos, y buscó las consecuencias que pueden resultar del segundo principio.

(1) MARCELO EMILIO VERDET (Nimes 1824-1866), célebre físico francés, fué profesor en la Escuela Normal de París y en la Escuela Politécnica. Se ocupó de la inducción de las descargas eléctricas de las interferencias y, sobre todo, de la rotación magnética del plano de polarización. En 1845, clasificó los cuerpos en los de poder rotatorio positivo, como el del agua y de los cuerpos paramagnéticos por tener la rotación en el sentido de la corriente magnética, y en los de poder rotatorio negativo como el del hierro oxidulado. Demostró que en las soluciones y mezclas el poder rotatorio es igual a la suma algebraica de los poderes rotatorios de las sustancias integrantes. Comprobó la ley de FARADAY sobre proporcionalidad entre la rotación y la intensidad del campo magnético y el espesor de la capa atravesada; y, en 1863, descubrió que la rotación es aproximadamente inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda, descubrimiento que sirve de base a la ecuación de BOUSSINESQ (1868).

EDMUNDO BECQUEREL
(1820-1891)

Electricidad: Ley de JOULE. Resistencia de las soluciones salinas. Rotación del plano de polarización. Resistencia de los gases. Pila y su teoría química. Pares termoeléctricos. Paramagnetismo y diamagnetismo. Fuerza magnetocristálica. Galvanoplastía. Aplicación de la ley de FARADAY a la electrólisis de compuestos binarios. Optica: Fotografía de los colores. Actinómetro electroquímico. Fosforescencia.

EDMUNDO BECQUEREL, hijo de ANTONIO CESAR BECQUEREL y padre de ENRIQUE BECQUEREL nació en París en 1820 y murió en la misma capital en 1891.

Ingresó a la Escuela Normal (1837) y a la Escuela Politécnica (1838); pero prefirió formarse al lado de su padre quien, desde su infancia, había sabido despertar en su hijo gran interés por los estudios de física. Edmundo fué ayudante de su padre en el Museo de Historia Natural; luego se doctoró, en 1840; fué profesor en el Conservatorio de Artes y Oficios y ocupó, en el Museo, la cátedra que, antes de él, ocupara su padre, y que ocupó, después de él, su hijo Enrique y, más tarde, su nieto JUAN BECQUEREL.

En 1863, formó parte de la Academia de Ciencias y fué su presidente en 1880.

Edmundo Becquerel se ocupó especialmente de electricidad y de óptica.

En electricidad se han hecho especialmente célebres sus estudios sobre la conductibilidad y sobre la pila.

Desde 1843, cuando sólo tenía veintitrés años, estudió, un año antes que LENZ, la ley de JOULE, sobre el calor desarrollado en los conductores. En 1846, estudió la resistencia eléctrica de los metales a distintas temperaturas con un galvanómetro diferencial, y extendió este estudio a la resistencia de las soluciones salinas, que encontró inversa-

mente proporcional a la concentración en algunos casos, mientras en otros alcanzaba un mínimum para un grado de concentración determinado y luego volvía a aumentar. En 1846, o sea al año siguiente del descubrimiento de FARADAY de la rotación del plano de polarización por influencia del magnetismo, E. Becquerel imaginó un dispositivo en que el rayo luminoso pasa por un agujero hecho en las masas polares, y observó así desviaciones de más de 25°. Más tarde (1877) trató de encontrar leyes generales de la rotación electromagnética, pero no agregó nada fundamental a lo ya descubierto por AIRY (1846), VERDET (1863), BOUSSINESQ (1868), MAXWELL (1873).

En 1853, E. Becquerel estudió la resistencia de los gases y observó que aún los gases más puros dejan pasar la corriente a presión ordinaria a altas temperaturas. CANTON, en 1762, había observado ya que si se acerca un hierro caliente a un conductor cargado, éste se descarga rápidamente, y J. THOMSON, en 1899, dió una explicación electrónica del fenómeno.

En sus repetidos estudios de la pila, de los cuales los principales fueron publicados en 1852 y 1860, E. Becquerel realizó numerosos experimentos que fueron aprovechados industrialmente por muchos constructores.

Era partidario de la teoría química de la pila y, sin embargo, demostró, en 1856, que en la máquina de frotamiento la substancia química que cubre las almohadillas no influye sobre la cantidad de electricidad producida, lo que está en desacuerdo con las teorías que pretendían atribuir toda producción de electricidad a una reacción química.

Edmundo Becquerel siguió los pasos de su padre en el estudio de la termoelectricidad, especializándose en la determinación de la fuerza electromotriz en función de la temperatura, del número de metales, de su naturaleza, etc. Observó así que, con telurio y metal blanco o con sulfuro de cobre y metal blanco, se produce una fuerza electromotriz de seis a ocho veces mayor que en la pila de bismuto y cobre (1866).

En 1845 y 1849, se ocupó del magnetismo inducido y estableció un principio parecido al de ARQUIMEDES: "Un

cuerpo sumergido pierde en para o diamagnetismo, el para o diamagnetismo del volumen de flúido que desaloja". Así, una varilla de cera blanca, que es diamagnética en el aire, parece paramagnética en soluciones concentradas de cloruro de calcio o de magnesio, que son más diamagnéticas. Observó también, como lo había hecho FARADAY, (véase) que la mayor parte de los gases ejercen poca influencia sobre el magnetismo de los cuerpos que contienen, pero que el oxígeno es claramente magnético. Esta influencia del oxígeno sobre el magnetismo de los cuerpos que contiene es indiscutiblemente interesante, pues toda variación de presión atmosférica debe ser entonces una causal de variación en la agujas magnéticas.

E. Becquerel, opuso a la explicación de WEBER (véase) del diamagnetismo, su concepción del fenómeno según la cual todos los cuerpos son magnéticos aún en el vacío y llamamos diamagnético el cuerpo menos magnético que el vacío (1). Esta original afirmación del magnetismo del vacío o sea del éter fué resistida en el siglo XIX pero es admisible en el siglo XX.

En electricidad, deben citarse todavía algunos trabajos de Becquerel sobre la "fuerza magneto-cristálica", observada por FARADAY; sobre la galvanoplastía; y sobre electrólisis, en que observó que, en los compuestos binarios de proporciones variadas, la ley de FARADAY acerca de los pesos atómicos debe ser aplicada al metaloide y no al metal (1844).

En óptica, la obra de Becquerel es recordada especialmente por su colaboración al estudio de la fotografía de los colores y por su estudio de la fosforescencia. La mayor parte de sus trabajos de óptica están reunidos en los dos tomos de su obra: "La Luz, Sus Causas y sus Efectos" (1868).

Desde el principio de su carrera, en 1839, la fotografía fué uno de sus estudios favoritos y le aportó, como al

(1) CHWOLSON, t. XI, pág. 446.

estudio de la pila, numerosas observaciones que fueron aprovechadas por los industriales.

Desde 1839, Becquerel observó que si se alumbra la superficie de separación entre dos líquidos (bicloruros, bromuros, etc. y soluciones salinas en alcohol) se produce una diferencia de potencial; de esta observación nació el "actinómetro electroquímico", en 1841.

En 1848, Becquerel obtuvo una reproducción fotográfica de los colores del espectro solar en una lámina de plata cubierta de cloruro de plata. Hemos dicho ya que SEEBECK y JUAN HERSCHEL habían observado cierta coloración del cloruro de plata por el espectro, y que HUNT, en 1840, había logrado fijar colores en el cloruro de plata proyectando la luz a través de vidrios coloreados. La impresión obtenida por Becquerel, como las de sus predecesores, era lenta, y como no resistía a la acción de la luz, sólo pudo ser conservada en la obscuridad. En 1891, año de la muerte de Becquerel, LIPPMANN (véase) llegó por primera vez a la realización de la fotografía de los colores por procedimientos físicos completamente distintos.

El estudio de la fosforescencia, que ya había preocupado a su padre, es sin duda la obra capital de Edmundo Becquerel. Por numerosos experimentos que realizó de 1860 a 1868, observó la influencia de la intensidad y del color de las radiaciones incidentes sobre la fosforescencia del cuerpo; estableció la ley de emisión de la luz por el cuerpo fosforescente, en función del tiempo; descubrió las desigualdades de las velocidades de emisión de diversos colores; determinó la cantidad total de luz acumulada por la substancia fosforescente y la influencia de la temperatura sobre la emisión de la fosforescencia; y demostró que la fluorescencia de un sólido es una fosforescencia de poca duración. Muchos de estos experimentos fueron realizados por medio del "fosforoscopio" (1), aparato nuevo inventado por Becquerel

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 209; GANOT, pág. 540; HOPPE, "Hist. de la Physique", pág. 382.

para la observación y la determinación de la duración del fenómeno.

En el estudio de la fosforescencia el nombre de Becquerel ocupa un lugar de evidente preferencia aunque el fenómeno, como ya lo hemos señalado anteriormente, había sido estudiado por ARISTOTELES, LA GALLA (1612), KIRCHER (1665), BOYLE (1667), DECHALES (1674), SLARE (1682), ZANOTTI (1731), DUFAY (véase) (1734-6), LANE (1764), J. SEEBECK (véase), y GROTTHUS (1814).

La fosforescencia fué estudiada después de Becquerel por muchos físicos y químicos, destacándose especialmente las investigaciones de LENARD y KLATT (1889), WIEDEMANN y SCHMIDT (1895), DEWAR; y esas investigaciones se prolongaron en el siglo XX (1).

Los estudios de óptica de Becquerel sobre las radiaciones luminosas, químicas, fosforescentes etc., han colaborado eficazmente a la formación del concepto moderno de la energía radiante, que se debe especialmente a MELLONI

TYNDALL
(1820-1893)

Polarización por difusión interior y explicación del color del cielo. Rehielo. Experimento de TYNDALL. Diamagnetismo. Variación de la fuerza de los electroimanes. Propagación del sonido en el aire.

JUAN TYNDALL nació cerca de Carlow, en Irlanda, en 1820 y murió en Halsmere (Suiza) en 1893.

Este gran vulgarizador pertenecía a una familia muy humilde. Su padre, que era un simple guardia civil, se impuso los mayores sacrificios para hacerlo estudiar hasta los

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 209-215. Scientia 1918. "Luminescence" E. PRINGSHEIM.

diez y nueve años, en la escuela de Carlow. Lo mandó entonces a Londres donde el futuro sabio fué empleado de una brigada de topógrafos y luego en una compañía de ferrocarril (1843). En 1847, un amigo le hizo conseguir el puesto de profesor ayudante en el Colegio de Hamspshire y, al año siguiente, lo convidó a realizar un viaje de estudio en Alemania. Este viaje duró cuatro años, años que Tyndall pasó en la Universidad de Marburgo donde asistía a las lecciones de BUNSEN, en Hessen donde conoció a STEGMANN, GERLING (1) y KNOBLAUCH y en Berlín donde fué alumno de MAGNUS.



TYNDALL

En 1853, Tyndall dió comienzo, en la Institución Real de Londres, a sus magníficas conferencias científicas que le cosquistaron una rápida y merecida celebridad. FARADAY lo hizo nombrar profesor de física de la misma Institución Real, y bien pronto se volvió universal su fama de

(1) GERLING (Hamburgo 1788-Marburgo 1864), físico, astrónomo y matemático alemán.

conferencista, de experimentador y vulgarizador de las ideas nuevas y sobre todo de la reciente ciencia termodinámica, hasta el punto que casi todos los países europeos invitaron a Tyndall para repetir en ellos sus bellas conferencias.

En 1887, el sabio irlandés se retiró a Suiza donde murió seis años más tarde.

Los principales experimentos de Tyndall interesan el magnetismo, la óptica, el movimiento de los ventisqueros y sobre todo la teoría mecánica del calor. Muchas de sus obras y especialmente "El Calor, Modo de Movimiento" se estudian todavía, por la sencillez y precisión de sus explicaciones.

En óptica, recordaremos que Tyndall fué el primero en estudiar la polarización de la luz por difusión interior de los rayos o sea la polarización de la luz que atraviesa un medio turbio y que se observa perpendicularmente a su dirección. En una conferencia titulada "Sobre el Color del Cielo y la Polarización de la Atmósfera" (1) Tyndall atribuyó el color azul del cielo al mismo fenómeno de difracción de la luz producida por las partículas de polvo de la atmósfera.

En el calor, cabe citar como principales trabajos de Tyndall, además de su magnífica obra de vulgarización de la teoría mecánica del calor que ya hemos señalado, su estudio del rehielo que realizó en Suiza en 1856, al mismo tiempo que su trabajo sobre el movimiento de los ventisqueros, y sus numerosos experimentos sobre el calor radiante que son la continuación de la obra de MELLONI.

Uno de sus experimentos, universalmente conocido con el nombre de "experimento de Tyndall", es prueba de la sencillez y la claridad que caracterizaban todas sus demostraciones. Esa experiencia consiste en calentar en una misma fuente de calor varias bolitas de metales distintos y colocarlas simultáneamente sobre un disco de cera para observar cual de ellas prueba tener el mayor calor específico, atravesando primero la capa de cera.

---

(1) TYNDALL, "Física Moderna", págs. 226-243.

En el magnetismo, estudió especialmente las propiedades de los diamagnéticos confirmando los resultados obtenidos por WEBER, y determinó los factores que hacen variar la fuerza de los electroimanes.

En acústica, Tyndall aclaró la cuestión de la resistencia del aire a la propagación del sonido, llegando a la conclusión de que el factor principal de la transparencia del aire para los sonidos es su homogeneidad. Es bien conocido el "experimento de Tyndall" sobre reflexión del sonido, experimento que consiste en colocar un reloj en el foco de una superficie parabólica suspendida en el techo de una pieza y en observar que el tic-tac del reloj se oye con toda claridad en el foco de otra superficie parabólica colocada en el suelo.

Otro título de gloria que debe agregarse a todos los que se conquistó este gran profesor, es el de haber sido el traductor y el valiente admirador de MAYER, víctima en aquel entonces de una terrible e injusta guerra de "silencio" (véase MAYER).

MONCEL
(1821-1884)

Varios inventos. Efluvio eléctrico. Imanación de electroimanes. Telegrafía. Conductibilidad por compresión. Micrófono, etc.

AQUILES LUIS CONDE DU MONCEL nació en 1821 en Caen y murió en París en 1884.

Hijo de un Par de Francia, general del cuerpo de ingenieros y agrónomo por afición, nieto de un sabio naturalista, Aquiles du Moncel manifestó desde su juventud haber heredado de sus antecesores un profundo amor al estudio.

A los diez y ocho años, egresado del colegio de Caen, escribió un libro de perspectiva matemática y otro de perspectiva aparente que tiene un doble valor matemático y artístico.

La arqueología atrajo entonces la atención del joven, que emprendió interesantes viajes en Europa y Oriente de los que volvió con una infinidad de datos y dibujos de verdadero valor.

Renunció sin embargo a la arqueología para dedicarse a las ciencias exactas, y la meteorología, la electricidad y la acústica conservan el recuerdo de la labor de este aristocrático sabio.

Du Moncel fué un gran vulgarizador, un entusiasta defensor de los inventos nuevos, un inventor ingenioso él mismo y un trabajador de extraordinaria perseverancia. Es así que, sin estudios superiores, llegó a hacerse respetar como sabio y recibió el alto honor de ser elegido miembro de la Academia de Ciencias (1874) a la cual hizo conocer el teléfono de BELL, el micrófono de HUGHES, el radiófono de HUGHES y el fonógrafo de EDISON.

Fué el primero en observar el "efluvio eléctrico", que fué estudiado después por PABLO THENARD (1) y BERTHELOT (2).

Du Moncel estudió las leyes de la imantación de los electro-imanes; inventó varios aparatos relacionados con la

---

(1) PABLO THENARD (1810-1884). Era hijo del célebre LUIS THENARD y, como él, químico. Se especializó en química agrícola. En colaboración con su hijo ARNOLDO, estudió el efluvio eléctrico y produjo sistemáticamente por su intermedio, cuerpos orgánicos. Hecho prisionero por los alemanes en la guerra de 1870, murió a consecuencia de las privaciones sufridas en el encierro.

(2) MARCELINO BERTHELOT (París, 1827-1907), fué una de las grandes figuras del siglo XIX. Químico célebre que extendió sus investigaciones a la Física y a la Filosofía. Berthelot fué profesor del Colegio de Francia, de la Escuela de Farmacia, Senador inamovible, Ministro de Instrucción Pública y de Relaciones Exeriores. Miembro de la Academia de Medicina y de la de Ciencias.

En química, se especializó en síntesis orgánica y en termoquímica. En física, aportó ciertos progresos a la calorimetría y se recuerda especialmente un aparato para la determinación del calor de vaporización de los líquidos (véase CHWOLSON, t. VII, pág. 253 y GANOT, pág. 257); su calorímetro (v. GANOT, pág. 229); su bomba calorimétrica para medida de los calores de combustión (v. GANOT, pág. 231) y su aparato para el estudio del efluvio eléctrico (v. GANOT, pág. 789). En 1905, Berthelot estudió la oclusión ya estudiada por GRAHAM, y la explicó como reacción química. Escribió numerosos artículos sobre Historia de la Química, en la que realizó investigaciones personales. Fué además uno de los más activos colaboradores de la "Grande Encyclopédie".

telegrafía y un motor eléctrico (1); estudió la conductibilidad eléctrica y calorífica y la composición de la descarga de inducción.

Entre los numerosos experimentos que imaginó para observar las chispas de la máquina de inducción se recuerda el sigieunte: Se hacen comunicar con el hilo inducido de un carrete de RUHMKORFF, dos hojas de estaño aplicadas contra las caras exteriores de dos placas de vidrio distantes, una de otra, de unos dos milímetros. Se observa en este espacio libre una verdadera lluvia de luz azulada de hermoso efecto (2).

Descubrió el principio de la variación de la intensidad de la corriente por la compresión de conductores imperfectos que, sin compresión, se vuelven aisladores.

Du Moncel tiene además serios títulos para que sea considerado como el precursor de HUGHES en el invento del micrófono.

HELMHOLTZ (3).
(1821-1894)

Demostración matemática del primer principio de la termodinámica. Oftalmoscopio. Visión de los colores. Colores complementarios. Espectrofotómetro. Telestereoscopio. Intensidad, tono y timbre. "Armónicos superiores". Ruido y sonido. Análisis del sonido. Resonadores. Teoría de OHM. Sonidos diferenciales y adicionales Disonancias. Interferencias. Fórmula Helmholtz y Kirchhoff, velocidad del sonido en tubos. Microscopio de vibraciones. Sirena doble. Viscosidad. Vena líquida. Acción mutua de dos elementos de corriente. Fórmula de relación entre fuerza electromotriz y efecto termoquímico. Teoría del elemento de concentración. Osmosis eléctrica. Teoría de la electrólisis de CLAUSIUS. Fenómenos electrocapilares. Electrón.

HERMANN LUIS FERNANDO HELMHOLZ na-

(1) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. II, pág. 401.
(2) FIGUIER, "Les Merveilles de la Science", t. I, pág. 731.
(3) "Les Grands Hommes" por OSTWALD; Biografía de HELMHOLTZ, por L. POINCARE (Rev. Gén.des Sciencies, 1894, pág. 771)

ció en Potsdam en 1821 y murió en Charlottemburg en 1894.

Su padre, que era profesor de enseñanza secundaria, lo dirigió hacia los estudios de medicina y, para evitarse gastos que no podía afrontar, lo hizo estudiar en la escuela militar y de allí lo hizo pasar al Instituto Real de Medicina y Cirujía de Berlín.

Desde la edad de veintidós años, y durante cinco años,



HELMHOLTZ

Helmholtz ejerció en Potsdam su profesión de médico militar y luego la abandonó para dedicarse a la enseñanza.

Fué primero profesor de Anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín; pero, al año siguiente (1849), consiguió una cátedra de Fisiología en Koenigsberg. De allí pasó sucesivamente a Bonn (1855) y a Heidelberg (1858) donde siguió enseñando la misma ciencia hasta que fué nombrado profesor de Física en la Universidad de Berlín, en 1871, puesto que ocupó hasta el fin de su vida.

Helmholtz era considerado como el primer físico de Alemania. Sus grandes descubrimientos de Fisiología y de Física le valieron los más altos honores: fué miembro de todas las academias científicas europeas; la Sociedad Real de Londres le discernió la medalla de Copley (1873); la Academia de Ciencias de París lo hizo primero miembro corresponsal (1869) y luego lo eligió como uno de sus ocho miembros extranjeros (1893) en reemplazo de DON PEDRO DE ALCANTARA, emperador del Brasil; el emperador de Alemania le dió título hereditario de nobleza en 1883, y le agregó, poco después, el título de Excelencia; cuando se fundó en Berlín el Instituto Físico-Técnico (1888), Helmholtz fué unánimemente designado como su presidente; en Francia, en fin, donde era entusiastamente admirado, fué condecorado con la Legión de Honor en 1890.

Amable, aunque parco en palabras y frío en su trato, amigo de las reuniones sociales y sobre todo amigo de los filósofos y de los músicos, Helmholtz era apreciado por sus valiosas cualidades de carácter.

Como profesor, ejerció una gran influencia, pero fué fuera del aula y de sus enseñanzas teóricas, en el laboratorio, donde prodigaba sus consejos y sus explicaciones, que Helmholtz formó su verdadera escuela.

Como sabio, fué de esos pocos hombres de ciencia que reunen a sus cualidades de erudición y de profunda preparación matemática, propias del analítico, un concepto genial de sintético. Si heredó de su padre, discípulo de FICHTE y entusiasta admirador de su filosofía, su amor a las teorías y al análisis, se puede atribuir a su madre, que era inglesa, el origen de su gusto por la experiencia y las aplicaciones prácticas.

Todas esas excepcionales condiciones reunidas permitieron a Helmholtz ejercer una gran influencia sobre la evolución de la Física, y fué su preparación matemática y física la que le hizo triunfar también en fisiología.

En 1845 (tenía entonces veinticuatro años), publicó su primera obra original: una corta noticia sobre las distintas

teorías de los fenómenos vitales caloríficos, en que se encuentra el germen de las ideas que desarrolló dos años más tarde en su célebre memoria "Sobre la Conservación de la Fuerza" (1847).

En esta obra en que, según él "no tenía sino la intención de dar a los fisiólogos un estudio crítico y una clasificación de los hechos", el joven sabio defendía la naciente teoría de la conservación de la energía y le daba lo que faltaba a la exposición filosófica de MAYER o a las observaciones experimentales de JOULE: una explicación matemática. Helmholtz recuerda, al respecto, que "sólo el matemático JACOBI reconoció que mi modo de razonar se parece a aquel de los matemáticos del siglo XVIII, se interesó en mi tentativa e impidió que yo fuera mal considerado. Al contrario, fuí aprobado con entusiasmo por mis jovenes amigos y en particular por DU BOIS-REYMOND. Me atrajeron a los miembros de la Sociedad de Física de Berlín. Yo sabía poca cosa de los trabajos de JOULE e ignoraba los de MAYER".

El valor de este trabajo de Helmholtz ha sido muy discutido; muchos sabios quisieron ver en él, el descubrimiento del primer principio de la termodinámica y, en estas discusiones, Helmholtz ha tenido la debilidad de dejarse atribuir la prioridad de este descubrimiento de MAYER (véase). Recordaremos que DUHRING perdió su cátedra de la Universidad de Berlín por haber defendido a MAYER y haber atacado a Helmholtz en esta discusión, y no podemos resistir al deseo de oponer aquí, ante esta actitud de Helmholtz, la de CLAUSIUS, quien reivindicó los derechos de CARNOT cuando los sabios quisieron atribuirle toda la gloria del descubrimiento del segundo principio de la termodinámica. Más tarde, Helmholtz, ya glorioso, se reprochó sin duda el haber usurpado la gloria de MAYER, el pobre sabio que hasta en el seno de su familia se sentía perseguido por sus ideas, pues afirmó con toda claridad que: "El primero que haya concebido y expresado con exactitud la ley general de la conservación de la energía es un médico alemán, J. R. MAYER, de Heilbronn..."

En 1849, Helmholtz fué a enseñar fisiología en Koenigsberg y llevó al estudio de esta ciencia su método de matemático y sus conceptos materialistas de físico.

Hasta aquella época, las sensaciones eran consideradas como algo espiritual, inalcanzable por el estudio experimental, y fué grande la sorpresa cuando se supo que el joven profesor de Koenisberg se proponía estudiar las sensaciones como cualquier fenómeno físico y pretendía aún determinar su velocidad de propagación en los nervios. Hasta el padre de Helmholtz, horrorizado por semejante atrevimiento, trató en vano de convencer a su hijo de abandonar esos estudios.

En 1851, Helmholtz tuvo la suerte de afianzar su crédito en el mundo científico, por el invento del oftalmoscopio (1). El mismo reconoce que este invento "tuvo más suerte que mérito", pues ya era sabido que una parte de la luz se refleja en el interior del ojo y vuelve a salir siguiendo el mismo camino que a la entrada; sólo faltaba deducir que estos rayos reflejados forman, fuera del ojo, una imagen de la retina, para llegar a la construcción del oftalmoscopio. Como ocurre generalmente, este invento de un aparato de gran aplicación práctica dió más gloria a su autor que sus ideas más geniales; pero, en este caso, la injusticia tuvo el feliz resultado de devolver la autoridad que necesitaba el sabio para triunfar en más elevados proyectos. Helmholtz prosiguió sus estudios de la visión y, en 1856, pocos meses después de su llegada a Bonn, publicó su "Manual de Optica Fisiológica" que contiene, en un vasto estudio de la visión, una teoría de los colores en oposición con la de BREWSTER y basada en la de YOUNG. Puede recordarse además, acerca de este último estudio, los métodos imaginados por Helmholtz para determinar la acción que ejerce en el ojo, una mezcla de radiaciones de colores distintos, el estudio de los colores complementarios (2) y el invento de un "espectrofotómetro" que sirve para mezclar radiaciones.

---

(1) GANOT, pág. 487.
(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 184.

Otro interesante aparato de óptica que se debe a Helmholtz es el "telestereoscopio" (1) o sea un estereoscopio que permite ver con mayor relieve los objetos lejanos. Si, en este aparato en que cada ojo recibe la imagen del objeto después que los rayos hayan sido reflejados con una inclinación de 45° en dos espejos paralelos, se reemplaza estos espejos por un prisma de reflexión total, se obtiene el principio de los gemelos prismáticos.

Después de la óptica, Helmholtz pasó a la acústica fisiológica, pero la amplitud con que trató este tema le hizo pasar las fronteras de la fisiología y penetrar en plena física, dando un extraordinario impulso al estudio de los sonidos.

Diferenció claramente la intensidad: amplitud de vibración del tono: frecuencia de vibraciones, y del timbre: forma de las vibraciones. Demostró que en los sonidos absolutamente puros o simples, sólo existirían el tono y la intensidad, pues el timbre se debe a sonidos secundarios que acompañan al sonido principal, siéndole superiores, y que pueden llamarse "sonidos secundarios", "sonidos superiores" o "armónicos superiores". Esta idea no era por lo demás absolutamente original, pues hemos visto que MONGE, en 1793, ya había dado una explicación similar del timbre. Los trabajos de KOENIG sobre el timbre hicieron adoptar por todos la teoría de Helmholtz.

Explicó Helmholtz que un ruido se diferencia de un sonido musical en que, en el ruido, los sonidos secundarios ahogan el principal, mientras que en el sonido musical, el sonido primario se impone a las otras vibraciones.

Es esta claridad y sencillez de las explicaciones de Helmholtz la que hace decir a BORDEAUX, con mucha exactitud: "Parece que antes de Helmholtz nadie haya jamás sabido lo que era un sonido" (2).

Se sabía que un cuerpo absorbe la emisión que él mismo emite, o sea, por ejemplo, que una cuerda adquiere una

(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 334.
(2) BORDEAUX, "Histoire des Sciences au XIX siècle", pág. 170.

"vibración simpática" si se emite cerca de ella su propia nota, y ya hemos visto que ELLICOT había explicado este fenómeno de las vibraciones simpáticas, que HUYGHENS había también observado en los movimientos de los péndulos. Helmholtz aplicó este fenómeno al análisis de los sonidos con los "resonadores" (1) o esferas huecas que refuerzan, cada una, un tono determinado o sus armónicos por resonancia. Pudo así demostrar que OHM (véase) tenía razón al emitir la opinión, refutada por SEEBECK, de que todo sonido puede ser descompuesto en armónicos, y comprobó que un diapasón, una flauta y la voz humana pronunciando la vocal u emiten sonidos simples o casi simples, pues los armónicos que los acompañan son apenas perceptibles.

Con sus resonadores, analizó los sonidos compuestos y luego, repitiendo los sonidos simples que encontró en ellos, reprodujo estos sonidos compuestos por síntesis y confirmó la exactitud de su teoría. Así lo hizo para las vocales de la voz humana; demostró que, aunque cantada con los mismos timbre, tono e intensidad, cada vocal impresiona dos resonadores, o sea que a cada vocal corresponden dos sonidos determinados llamados "vocablos", comprobando nuevamente esta afirmación con las síntesis de las vocales (2).

Explicó así también, la percepción de los sonidos; consideró que en el oído existen varios grupos de fibras y que cada uno de estos grupos resuena para sonidos particulares, y confirmó nuevamente una opinión de OHM, según la cual el oído descompone los sonidos compuestos en sonidos simples, que percibe separadamente, opinión que no es generalmente admitida en nuestros días.

Hemos dicho ya, al hablar de LAGRANGE, que SORGE (1744), ROMIEU (1753) y TARTINI (1754) habían descubierto los "sonidos diferenciales" cuando se emiten simultáneamente dos sonidos tales que el número de vibraciones del más agudo sea menor del doble del núme-

---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 178; GANOT, pág. 405-407.
(2) CHWOLSON, t. III, pág. 206.

ro de vibraciones del más grave; LAGRANGE dió una explicación del fenómeno en 1795, considerando que los sonidos diferenciales son producidos por la repetición rápida de pulsaciones. Helmholtz (1856) demostró la inexactitud de esta afirmación, haciendo observar que los resonadores registran los sonidos diferenciales como sonidos simples y que las pulsaciones se perciben en todos los sonidos mientras que los diferenciales sólo se producen en sonidos fuertes (1).

La teoría de LAGRANGE fué sin embargo admitida de nuevo, aunque parcialmente, por KOENIG (2), quien su opuso a la de Helmholtz. Según éste, cuando se emiten los dos sonidos de números de vibraciones cercanos (N y N_1) éstos están acompañados por sus armónicos (números de vibraciones múltiples de N y N_1), sonidos diferenciales **(N_1 - N)** y también "sonidos adicionales" **(N_1 + N)**, y otros diferenciales y adicionales producidos por los sonidos iniciales con los primeros diferenciales y adicionales. Desarrolló una teoría de HALLSTROM (1832) que atribuye los sonidos diferenciales a diferencias del número de vibraciones y demostró que hay sonidos adicionales objetivos y otros subjetivos. QUINCKE (1866) demostró la existencia objetiva de los sonidos adicionales por tubos de interferencias.

El fenómeno de las pulsaciones fué ampliamente estu-

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 197 y 198.

(2) RODOLFO KOENIG (Koenigsberg 1832-París 1901), hijo de un profesor de física, se dedicó a la misma ciencia y se especializó en acústica como sabio y como músico. En 1851, llegó a París para trabajar en los talleres de instrumentos musicales de Vuillaume, y se naturalizó francés. En 1858, instaló un taller propio y prosiguió sus estudios teóricos. Su cápsula manométrica (CHWOLSON, t. III, pág. 149), su analizador de sonidos (CHWOLSON. t. III, pág. 184), su reloj diapasón (CHWOLSON, t. III, pág. 172), su sirena (CHWOLSON, t. III, pág. 167), su estetoscopio (GANOT, pág. 374), su trombona de interferencias (GANOT, pág. 388), su caleidófono (CHWOLSON, t. III, pág. 124) recuerdan eficazmente el nombre de este sabio. En 1876, se opuso a la teoría de HELMHOLTZ sobre sonidos diferenciales y adicionales y dió una nueva explicación, que VOIGT tradujo matemáticamente en 1890. (CHWOLSON, t. III, pág. 198).

diado por Helmholtz como simples interferencias, explicando por ellas las disonancias (1).

Debe citarse todavía la fórmula de Helmholtz (1863) y KIRCHHOFF (1868) para determinar la velocidad del sonido en los tubos (2) y, como aparatos, su microscopio de vibraciones (1863) (3), perfeccionamiento del de LISSAJOUS (véase), y su sirena doble (1863) (4) basada en la de CAGNIARD DE LA TOUR (1829) ya perfeccionada por DOVE (1851).

En 1860, Helmholtz se ocupó del estudio de la viscosidad o sea del roce interior de los líquidos, roce interior que, como lo hemos visto, era estudiado en la misma época en los gases por GRAHAM, O. E. MEYER, MAXWELL, etc...

La hidrostática, tanto la de ARQUIMEDES como la de PASCAL y la de D'ALEMBERT, y a pesar de la perfección analítica de las ecuaciones de este último sabio, no podía ser rigurosamente exacta si no se tomaba en cuenta la viscosidad o roce interior. La hipótesis de LAPLACE (véase) de las acciones recíprocas entre moléculas de los líquidos, que este sabio tomó como base de su estudio de la capilaridad, sirvió también de base a NAVIER (1822) y a POISSON (1831) para hacer un estudio matemático de la viscosidad; pero debe recordarse que, ya en 1795, GERSTNER (1756-1832) conocía la cohesión del agua y la influencia de la temperatura sobre su fluidez. El Dr. POISEUILLE, en 1842, estudió el derrame de líquidos en tubos capilares y estableció sus leyes basándose en trabajos anteriores de DU BUAT (1779), GIRARD (1816) y HAGEN ((1839), llegando a las conclusiones siguientes: El gasto es proporcional a la diferencia de presiones (DU BUAT) y a la cuarta potencia del radio interior del tubo (HAGEN) e inversamente proporcional a la longitud del tubo, y depende además de una constante característica de la

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 197 y 219.
(2) CHWOLSON, t. III, pág. 70.
(3) CHWOLSON, t. III, pág. 105.
(4) CHWOLSON, t. III, pág. 166 y 192.

sustancia y variable con la temperatura. HAGENBACH (1860) llamó "coeficiente de viscosidad" a esa constante de la ley de POISEUILLE (1). BARRE DE SAINT VENANT (1843), STOKES (1845), BOUSSINESQ, DUHEM, intervinieron en el mismo estudio por el mismo método del derrame en tubos capilares. COULOMB, en 1802, había propuesto estudiar la viscosidad por el amortiguamiento de las oscilaciones del péndulo en el líquido y Helmholtz, en 1860, con P. PIOTROWSKI, observó las oscilaciones o torsiones de una esfera hueca en el líquido estudiado.

WARBURG (2), en 1870, extendió la ley de POISEUILLE a los líquidos que no mojan.

KOENIG (1887), MARGULES (1890) y otros siguieron procedimientos parecidos.

Helmholtz, en 1868, se ocupó de un problema de hidrodinámica relacionado con la cuestión anterior: las deformaciones de la vena líquida. Este problema corresponde al estudio del derrame de los líquidos a cuya historia pertenecen las investigaciones, ya mencionadas en esta obra, de TORRICELLI (1644), MERSENNE (1644), MARIOTTE (1686) y de NEWTON (1713) donde por primera vez se menciona la contracción de la vena (contractio venae) que fué estudiada por vez primera en forma analítica por DANIEL BERNOULLI (1738). En 1816, HACHETTE (1769-1834) estudió las modificaciones de forma de la vena cuando el orificio de derrame es cuadrado o rectangular. SAVART, BAZIN (1855) y otros investigadores estudiaron la particularidad de la constitución de

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 262 y sigtes.; HOPPE, obr. cit., pág. 118; WATSON, obr. cit., pág. 178.

(2) EMILIO WARBURG (Altona, Elba 1846-). Físico alemán, estudió en Altona, Heidelberg y Berlín. Terminada la guerra del 70, en la cual intervino, fué profesor en Estrasburgo, Friburgo y en Berlín, de cuyo Instituto de Técnica Física fué presidente de 1922. En 1870, demostró que la ley de POISEUILLE se aplica también a los líquidos que no mojan. Dos años antes, Warburg ya se había destacado por su demostración de los efectos caloríficos de los cuerpos vibrantes. En 1875, estudió con KUNDT la conductibilidad del calor y el calor radiante. En electricidad intervino en el estudio de la electrólisis e hizo interesantes conferencias con el electrodo de gotas (1892).

la vena líquida (1) y Helmholtz (1868) y KIRCHHOFF (1863) dieron los elementos necesarios para la resolución teórica del problema.

Después de realizar estos trabajos, Helmhiltz pasó a Berlín (1870) como profesor de física y fué en esa época que tuvo lugar su polémica con DUHRING, la que lo afectó grandemente y lo obligó a tomar descanso en Suiza. A su vuelta, se ocupó preferentemente de la aplicación de la teoría de la conservación de la energía a la electroquímica (2).

No era esta su primera incursión en el estudio de los fenómenos eléctricos pues, ya en 1852, mientras se ocupaba especialmente de óptica, había publicado una memoria "Acerca de las Corrientes Eléctricas en los Conductores no Lineales".

Hemos citado ya a Helmholtz cuando hablamos de AMPERE por haberse opuesto a las hipótesis de éste sobre la acción mutua de dos elementos de corrientes. Helmholtz no admitía la posibilidad de una fuerza sola entre los dos elementos y propuso considerar que el elemento de corriente está sometido a una fuerza y a un par; y, mientras la hipótesis de AMPERE hace imposible la existencia de un potencial elemental, Helmholtz la admite siempre (3). La teoría de Helmholtz es un perfeccionamiento de la teoría de AMPERE, pero en las dos, que coinciden para las corrientes cerradas, subsisten oposiciones y dificultades debidas a la hipótesis de las corrientes abiertas.

J. BERTRAND (4) y Helmholtz tuvieron una gran polémica, en la que BERTRAND sostenía la existencia de una fuerza única entre los últimos elementos de la materia, y Helmholtz mantenía la necesidad de un par.

---

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 289; L. POINCARE, "Viscosité et Rigidité des Liquides" (Rev. Gén. des Sciences, 1890, pág. 76).

(2) GANOT, pág. 618.

(3) CHWOLSON, t. XI, pág. 372-373; "Science et Hypothèse" de E. POINCARE, pág. 271. (Véanse las biografías de AMPERE y de MAXWELL).

(4) JOSE BERTRAND (1822-1900), célebre físico del Colegio de Francia. Matemático y escritor francés, fué suplente de BIOT en la cátedra de Física Matemática desde 1847 y lo reemplazó a su muerte, en 1862.

Helmholtz observó que la fuerza electromotriz de una pila no es siempre equivalente a su efecto termoquímico. La regla de THOMSON que establece sencillamente la igualdad entre la fuerza electromotriz y el efecto termoquímico no era pues exacta. Helmholtz demostró que la fuerza electromotriz de una pila puede aumentar con la temperatura y es entonces mayor que el efecto termoquímico, o sea que da a la corriente más energía que la energía química desprendida en la pila. Si, al contrario, al elevarse la temperatura, la fuerza electromotriz disminuye es que ésta es menor que el efecto termoquímico (1).

Estableció la fórmula (fórmula de Helmholtz):

$$E = q + T \frac{\delta E}{\delta t}$$

en que E es la fuerza electromotriz, q el efecto termoquímico, T la temperatura absoluta y t la diferencia de temperatura (2).

En 1875, Helmholtz volvió a ocuparse de óptica pues dió una teoría de la dispersión anómala, fenómeno descubierto por CHRISTIANSEN en 1870; y, en 1893, buscó la explicación de la dispersión por la teoría electromagnética de MAXWELL (3).

Dió, en 1877, la teoría completa de un elemento de concentración, o sea del elemento constituído por el contacto de un solo metal con dos concentraciones distintas de un mismo electrólito. Esta teoría fué desarrollada más tarde

---

Sus tres obras más célebres son: "Termodinámica" (1887), "Cálculo de Probabilidades" (1889) y "Teoría Matemática de la Electricidad" (1890) y se cuentan entre las obras clásicas de la Física Matemática. Bertrand fué también un gran vulgarizador y sus elogios y biografías de sabios, como las de AMPERE, EULER, R. MAYER, POINSOT, etc., son obras de gran valor literario y científico. Era miembro de la Academia Francesa y secretario de la Academia de Ciencias.

(1) GANOT, pág. 620.

(2) CHWOLSON, t. IX, pág. 195.

(3) CHWOLSON, t. IV, pág. 177.

por NERNST (1) (1888) que coincidió con los resultados de Helmholtz (2).

En 1879, Helmholtz explicó el fenómeno de la ósmosis eléctrica, en cuya historia nos detendremos.

En 1807, REUSS descubrió que dos masas de electrólito a potenciales diferentes y separados por una membrana porosa, atraviesan esta membrana en el sentido de la corriente: es la ósmosis eléctrica. Este fenómeno fué comprobado por BECQUEREL y por PORRET; G. WIEDEMANN (3) estableció así sus leyes en 1825; QUIN-

---

(1) GUALTERIO NERNST (nació en Briesen, Prusia Occidental, en 1864), célebre físico alemán, estudió en Zurich, Berlín, Gratz y Wurzburgo. En 1887, fué nombrado ayudante del laboratorio de OSTWALD en Leipzig y, en 1891, ocupó la cátedra de Físico-Química en la Universidad de Gotinga, enseñando luego la misma materia en Berlín. Su obra física interesa especialmente a la electricidad. Es bien conocida su célebre teoría que trata de dar una solución al problema del origen de la fuerza electromotriz por contacto, que hemos estudiado en la biografía de VOLTA. Esta teoría de Nernst puede ser llamada "teoría osmótica de los elementos de la pila" (v. CHWOLSON, t. IX, pág. 200 y sigtes.; GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", t. II, pág. 47 y 82) pues está basada en las teorías que demuestran la identidad entre la presión osmótica de una disolución, o sea un electrólito, y la tensión de un gas, como lo vemos en la biografía de ARRHENIUS. El nombre de Nernst hace pensar también en su invento de la conocida lámpara eléctrica que lleva su nombre y que este sabio hizo conocer en 1897. En esta lámpara se observa una verdadera electrólisis del filamento llevado al rojo que la relaciona hasta cierto punto con las lámparas de DE FOREST en radiotelefonía. Entre otros trabajos que recuerdan el nombre de Nernst destacaremos todavía su microbalanza (CHWOLSON, t. I, pág. 351), su aparato para la determinación de la presión osmótica (CHWOLSON, t. II, pág. 257), su fórmula sobre tensión de los vapores (1906) (CHWOLSON, t. VIII, pág. 44), sus estudios sobre valor de la entropía en el cero absoluto y tercer teorema del calor (1908).

(2) CHWOLSON, t. IX, pág. 207 y 245.

(3) GUSTAVO WIEDEMANN (Berlín 1826-Leipzig 1899), trabajó en el laboratorio de MAGNUS, fué profesor en Berlín, en Basilea, Brunswich, Carlsruhe y en fin en la Universidad de Leipzig donde enseñó física y química. Se ocupó especialmente de electricidad. Estudió la influencia de las acciones mecánicas sobre la imantación (CHWOLSON, t. X, p. 82).

En 1852, hizo un profundo estudio de la rotación magnética del plano de polarización descubierta por FARADAY en 1845, y por BECQUEREL al año siguiente. Wiedemann colocó un tubo SOLEIL en una espira magnetizante y observó la proporcionalidad de la rotación con la intensidad de la corriente así como la dependencia de la longitud de onda. Dos años más tarde (1854) VERDET amplió el estudio de la ro-

CKE (1), en 1861, la observó también en un tubo capilar en vez de una membrana porosa y descubrió que en ciertos casos, la corriente líquida es de sentido inverso a la corriente eléctrica. QUINCKE explicó los fenómenos capilares y de ósmosis eléctrica suponiendo que entre la membrana y el líquido hay una diferencia potencial sien-

---

tación magnética del plano de polarización y estableció la ley de dependencia del campo magnético, ley que Wiedemann sometió a algunas correcciones.

Fué también en 1852 que Wiedemann estudió la ósmosis eléctrica, confirmando las experiencias de BECQUEREL y estableciendo que la cantidad de líquido introducida por endósmosis en un tiempo determinado es proporcional a la intensidad de la corriente, a las resistencias específicas y es independiente del espesor del tabique poroso.

En 1853, inventó un galvanómetro muy semejante al de WEBER (1846). En 1861, estudió y confirmó como lo habían hecho FECHNER (1831) y J. R. KOHLRAUSCH (1851) las leyes de BARLOW (1825) y de OHM (182s) sobre resistencia eléctrica (CHWOLSON, t. X, página 115).

En 1876, Wiedemann inventó un aparato para la determinación de la capacidad calorífica de los gases.

En 1882, estudió la teoría de la corriente galvánica admitiendo y desarrollando la teoría de SCHONBEIN (1836), fusión de la teoría del contacto y de la teoría química.

Estudió con FRANZ la conductibilidad del calor en los metales, perfeccionando el método de DESPRETZ (CHWOLSON, t. VI, página 335: GANOT, p. 333).

También estudió la relación existente entre la conductibilidad de los electrólitos y su roce interior, tal como lo suponía HANKEL (1846).

Gustavo Wiedemann no debe ser confundido con su hijo EILARDO WIEDEMANN quien nació en Berlín en 1852 y murió en Erlangen en 1928. E. Wiedemann estudió en Heidelberg y en Leipzig; fué profesor en Darmstadt y en Erlangen. Amplió los estudios de REGNAULT sobre el calor específico de los gases (1876); perfeccionó en 1888, el fosforoscopio de E. BECQUEREL (1867) y estudió los fenómenos de luminiscencia; se opuso (1880) a la teoría de WULLNER (1869) sobre el espectro; y se ocupó de los rayos catódicos, considerándolos, como lo hiciera HERTZ, semejantes a las vibraciones luminosas.

(1) JORGE HERMANN QUINCKE, nació en Francfort sobre Oder en 1834 y murió en 1920. Estudió en Berlín donde fué profesor de la Escuela Industrial (1859) antes de ser nombrado profesor de la Universidad de Wurzburgo (1872) y de Heidelberg (1875) en la cual reemplazó a KIRCHHOFF.

Además de los trabajos de Quincke sobre ósmosis eléctrica citados más arriba, deben recordarse: sus estudios sobre el contacto de los gases con los sólidos (1859) (CHWOLSON, t. II, p. 89); sobre la tensión superficial generalizada a los sólidos (CHWOLSON, t. II, página 206); sobre capilaridad, en que demostró que las fuerzas moleculares que la provocan hacen sentir su influencia a distancias determinables; sobre electrostricción (CHUOLSON, t. IX, p. 292); sobre las

do siempre el líquido positivo. Helmholtz dió la demostración matemática de esta hipótesis de QUINCKE (1).

En 1880, Helmholtz desarrolló la teoría de la electrólisis de CLAUSIUS (véase) y la hizo concordar con los grandes principios de la termodinámica, haciendo ver que hay una transformación de energía eléctrica en energía química (2).

En 1881, basándose en una concepción semejante a la de QUINCKE, de la doble capa eléctrica formada por el líquido y el tubo capilar, Helmholtz dió una explicación de los fenómenos electrocapilares que eran objeto de profundos estudios por parte de LIPPMANN. (Véase).

También en 1881, Helmholtz emitió la idea de "átomos de electricidad" que debe ser considerada como una de las piedras fundamentales de la teoría de los electrones cuya historia ya había empezado con WEBER y especialmente con LORENTZ.

En 1884, Helmholtz se ocupó de la introducción de la teoría de MAXWELL en Alemania y de su ampliación no sólo al electromagnetismo sino a la óptica y aun a la hidrodinámica.

En el mismo año de 1884, vemos a Helmholtz ocuparse de la ampliación del segundo principio de la termodinámica (3), tomando como base la teoría de los sistemas monocíclicos (4) y llegando así a una generalización del principio de la mínima acción. En 1892 y aun en 1894, los últimos trabajos de Helmholtz tratan todavía esta cuestión, pues apli-

---

interferencias luminosas, la reflexión metálica, el fenómeno de KERR (GANOT, p. 776); sobre la refracción en los metales (1863) en que demostró que ésta depende del ángulo de incidencia; sobre el principio del electrómetro de LIPPMANN (1874). Deben recordarse también su invento de un aparato sencillo para el estudio de las interferencias de los sonidos (1866) (CHWOLSON, t. III, p. 92), su perfeccionamiento (1866) del aparato de interferencias de NORRENBERG (1833) y su perfeccionamiento (1893) de la brújula de tangentes de POUILLET (1837), así como su método de determinación del poder inductor específico de los líquidos (CHWOLSON, t. IX, p. 357).

(1) CHWOLSON, t. X, pág. 193; GANOT, pág. 648.

(2) CHWOLSON, t. X, pág. 248.

(3) CHWOLSON, t. VII. pág. 10.

(4) CHWOLSON, t. VII, pág. 137.

caba a la teoría electrodinámica las consecuencias de la fusión hecha por él del principio de la mínima acción de MAUPERTUIS con el de la conservación de la energía, de MAYER.

En 1893, a su regreso de la Exposición de Chicago, Helmholtz sufrió una grave caída que le provocó frecuentes congestiones cerebrales. Aun así, en ese estado de salud precaria, este sabio incansable, que ya tenía setenta y tres años, proseguía su obra, tan fecunda para la física y la fisiología.

LISSAJOUS
(1822-1880)

Interferencia de los sonidos. Figuras de Lissajous. Microscopio de vibración.

JULIO ANTONIO LISSAJOUS, físico francés, nació en Versailles en 1822 y murió cerca de Dijón en 1880.

Egresó de la Escuela Normal y fué nombrado profesor en el Liceo de San Luis (1850-1874) y luego rector de las Academias de Chambery y de Besanzón.

Se especializó en acústica y se recuerda especialmente su experimento sobre la interferencia de los sonidos, que consiste en colocar encima de un disco vibratorio otro disco dividido en seis sectores alternativamente macizos y huecos, de modo que, según la posición que éstos ocupen con relación a las líneas nodales del disco vibratorio, se producen interferencias o se refuerza el sonido (1).

La obra principal de Lissajous es su "Estudio Optico de los Movimientos Vibratorios" (1873). En ella, además del estudio de varias cuestiones clásicas sobre vibraciones, se encuentran las célebres "figuras de Lissajous" y el "microscopio de vibración" (2).

---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 9.
(2) Física de WATSON, pág. 385-386.

Las figuras de Lissajous se obtienen con la reflexión de la luz en un espejo colocado en la rama de un diapasón o después de una segunda reflexión en otro espejo colocado en un segundo diapasón en posición perpendicular al primero, y permiten estudiar la combinación de dos movimientos armónicos simples. Las figuras de Lissajous permiten ajustar las frecuencias de un diapasón en relación a las de un diapasón-patrón; pero como el espejo colocado en la rama del diapasón estudiado modificaría su tono, Lissajous imaginó el microscopio de vibración cuyo dispositivo evita ese inconveniente. (Véanse WHEATSTONE y HELMHOLTZ).

Durante la guerra de 1870, Lissajous inventó un telégrafo óptico, que prestó grandes servicios al ejército francés.

En 1879, fué nombrado miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de París.

CLAUSIUS
(1822-1888)

Postulado del segundo principio de la termodinámica. Teorema de Clausius. La entropía. Fusión del hielo por presión debajo de 0º. Ley Kirchhoff-Clausius. Teoría cinética de los gases. Fórmula de Van der Waals. Teoría de la ley Joule-Lenz. Teoría termodinámica de los fenómenos termoeléctricos. Teoría de la electrólisis. Dieléctricos en campos eléctricos.

RODOLFO CLAUSIUS nació en 1822, en Koeslin (Pomerania) y murió en Bonn en 1888.

Hizo sus estudios en Berlín donde fué nombrado profesor de Física en la Escuela de Artillería, en la Escuela Politécnica y luego en la Universidad (1857). Ocupó cátedras de la misma ciencia en Zurich, Wurzburg (1867) y Bonn (1869), de donde se retiró para descansar, siendo reemplazado por HERTZ. Desde 1865, era corresponsal de la Academia de Ciencias de París, en la que obtuvo el

premio Poncelet, en 1882, y era miembro de la Sociedad Real de Londres.

A su muerte, BERTRAND, secretario perpetuo de la Academia de Ciencias, hizo resaltar, además del valor del sabio, sus grandes cualidades de corazón y su absoluta lealtad. Recordó que fué Clausius mismo quien se opuso a ver su nombre solo unido al principio de la termodinámica e hizo valer los derechos de CARNOT.

La importante obra físico-matemática de Clausius, interesa la mecánica, la óptica, la electricidad, el calor y, más especialmente, el segundo principio de la termodinámica.

En 1850 (tenía entonces 28 años), y después de haberse ocupado ya de óptica matemática, escribió su memoria "Sobre la Fuerza Motriz del Calor y las Leyes que pueden deducirse del Estudio de esta Cuestión, aprovechables para la Teoría del Calor" y la envió a POGGENDORFF, quien la publicó inmediatamente en los "Anales de Física". El segundo principio de la termodinámica (1) había sido perfeccionado después de CARNOT, por CLAPEYRON (véase) en 1834, y por W. THOMSON (véase KELVIN) de 1849 a 1851.

El primero había traducido al lenguaje analítico la exposición de CARNOT, y el segundo había encontrado la función general de CARNOT que explica la relación entre la temperatura y la cantidad de trabajo producido por el calor. Pero CLAPEYRON repitió el "error de Carnot", pues aun no se había establecido el concepto de transformación de la energía, y THOMSON, que ya poseía este concepto cuando se ocupó del segundo principio, pues conocía los trabajos de MAYER y de JOULE, no se atrevió a introducirlo en la obra de CARNOT por "miedo a innumerables dificultades".

Subsistía, pues, una especie de contradicción entre el primer y el segundo principio de la termodinámica y las obras de sus dos creadores, CARNOT y MAYER, quedaban separadas.

---

(1) CHWOLSON, t. VII, pág. 11 y sigtes. y pág. 85 y sigtes.

Clausius creyó poder vencer esas "innumerables dificultades" y las venció. Respondiendo a la afirmación de KELVIN, dijo:

"...No considero como tan grandes estas dificul-
" tades... porque, si es cierto que es preciso introdu-
" cir algunas variaciones en el modo de exposición usa-
" do hasta el presente, no puedo encontrar nada en es-
" tas alteraciones que esté en contradicción con los he-
" chos demostrados. Ni siquiera es necesario rechazar
" completamente la teoría de CARNOT, a lo que no
" sin pena me resolvería, puesto que una parte de esta
" teoría ha recibido de la experiencia una confirmación
" brillante. Un examen profundo demuestra que no es
" el principio fundamental de CARNOT el que está en
" oposición con la nueva manera de considerar las co-
" sas, sino el principio que añadió, según el cual no se
" perdería calor, porque cuando hay producción de tra-
" bajo, puede suceder muy bien que cierta cantidad de
" calor se consuma y que otra cantidad sea transporta-
" da de un cuerpo caliente a un cuerpo frío, y estas
" dos cantidades de calor pueden tener una relación
" determinada con la cantidad de trabajo producido.
" En lo que sigue se verá que no solamente las conclu-
" siones sacadas de las dos hipótesis pueden existir jun-
" tas, sino que además se prestan mutuo apoyo."

Fué Clausius, pues, quien supo hacer concordar las ideas de MAYER y de CARNOT, y, por haber librado la obra de CARNOT de su antiguo concepto del calórico indestructible, puede ser considerado equitativo que su nombre esté unido al del genial ingeniero francés en el título de "principio de Carnot-Clausius".

Clausius enunció este principio estableciendo el postulado siguiente:

"El calor se transporta por sí mismo de un cuer-
" po caliente a un cuerpo frío, pero el fenómeno inverso
" es imposible."

"Si parece existir semejante transporte inverso de-
" be existir otro de caliente a frío que lo anula."

Este postulado mereció muchas críticas y fueron muchos los físicos que se ingeniaron en imaginar máquinas en que se pudiera hacer pasar naturalmente el calor de la fuente fría a la caliente, pero todos sus esfuerzos fueron vanos pues siempre iba acompañado el fenómeno por su equivalente en el sentido "natural" (1). HIRN fué uno de esos opositores.

Además del postulado, Clausius enunció el teorema de CARNOT bajo una forma nueva, estableciendo que "La relación entre el calor gastado útilmente y el calor gastado total, es independiente de la naturaleza del cuerpo y es igual al cociente de la diferencia de las temperaturas extremas por la temperatura absoluta más elevada".

En 1854, cuatro años después de su primera memoria de termodinámica, Clausius introdujo el concepto de entropía (2).

"Muchos físicos vacilan y dudan en utilizarla, vien-
" do sólo en ella una función puramente matemática,
" sin ningún sentido físico determinado", dice LUCIANO POINCARE, pero agrega: "La verdadera ra-
" zón que hace la entropía algo misteriosa es que esta
" magnitud no hiere directamente ninguno de nuestros
" sentidos, pero posee el verdadero carácter de las mag-
" nitudes físicas concretas, puesto que, al menos en
"principio, es perfectamente mensurable." (3)

BRUNHES (4) ve en la entropía un concepto "prodigiosamente abstracto", perjudicial a la teoría de la degra-

---

(1) CHWOLSON, t. VIII, pág. 88 y sigtes.
(2) CHWOLSON, t. VII, pág. 112.
(3) "La Física Moderna y su Evolución", L. POINCARE, pág. 72-73.
(4) BERNARDO BRUNHES (Tolosa 1867-Clermont Ferrand 1910), meteorólogo y físico francés, profesor de la Facultad de Ciencias de Clermont Ferrand y director del Observatorio de Puy de Dome. Su obra "La degradación de la energía" es universalmente conocida.

dación de la energía, pues "siempre se podrá contestar que no sabemos lo que es su entropía." (1)

LE DANTEC (2) dijo: "Cada vez que he tratado en "el curso de mis estudios de biología general, de uti- "lizar los resultados de la termodinámica, he sido mo- "lestado por la existencia de esa noción matemática "no traducida en lenguaje vulgar."

Y GUILLEMINOT confiesa que "no hay lector in- "teresado en la vulgarización científica en el cual esta "palabra de entropía no despierte un sentimiento de "malestar."

GUILLEMINOT y E. ARIES han logrado, sin embargo, explicar en forma bastante sencilla lo que es esta misteriosa entropía (3).

CARNOT ya había pensado que debía existir una relación entre el trabajo producido por el calórico y la temperatura absoluta. Clausius se dió cuenta de la inmensa importancia de esta relación a la que dió el nombre de "entropía".

En una máquina ideal, según el teorema de Clausius, más arriba enunciado,

$$E_u = Q \frac{T - T'}{T}$$

o sea:

$$\text{Energía utilizable} = \text{cantidad de calor gastado} \times \frac{\text{temp. máxima - temp. mínima}}{\text{temp. máxima}}$$

Vemos, pues, que la energía utilizable es igual al producto de $(T - T')$, o sea la "caída del calórico" como dijera CARNOT, por $\frac{Q}{T}$ relación entre la energía térmica y la temperatura absoluta máxima.

---

(1) "Une interprétation de l'entropie", LE DANTEC, Revue Scientifique del 6 de Febrero de 1910.

(2) FELIX ALEJANDRO LE DANTEC (n. Plogastel 1869), eminente biólogo y filósofo francés. Murió en París en 1917.

(3) Véase "Les nouveaux horizons de la science" por A. GUILLEMINOT, t. II, pág. 429-439 y "L'oeuvre scientifique de Sadi Carnot", por E. ARIES (Payot 1921).

Es a ese importante factor $\frac{Q}{T}$ que Clausius dió el nombre de "entropía", mientras que RANQUINE lo llamaba "función termodinámica" y ZEUNER "peso del calor".

Clausius ha demostrado que en la naturaleza la entropía crece siempre, y LE DANTEC dice:

"Es muy triste oir decir por los matemáticos que
" en el mundo hay algo que crece sin cesar y de lo cual
" no se puede conocer la naturaleza. Y ello nos causa
" todavía más molestia porque del crecimiento incesante de este "no sé qué" ciertos físicos filósofos han
" sacado conclusiones relativas al fin del mundo."

Veamos cuáles son las principales conclusiones alcanzadas por Clausius por medio de esta "fastidiosa entropía".

Suponiendo un ciclo isotérmico en que:

T = temperatura absoluta constante
Q_1 = cantidad de energía térmica inicial
Q_2 = » » » en otro estado del cuerpo

tendremos:

$$S_1 = \frac{Q_1}{T}$$,como entropía inicial

$$S_2 = \frac{Q_2}{T}$$,como entropía del segundo estado

No podemos conocer el valor en sí de S_1 o de S_2 pues no conocemos ningún cuerpo de entropía igual a cero; lo único que podemos conocer es la diferencia entre las entropías S_2 y S_1 para distintos estados del cuerpo.

La entropía es, en efecto, función del estado del cuerpo y por consiguiente, si éste recorre un ciclo, la entropía vuelve a su valor inicial.

Cuando un cuerpo sufre una transformación isotérmica reversible, su entropía aumenta o disminuye de una unidad por cada cantidad de calor igual a la temperatura absoluta, que absorba o desprenda.

En efecto si:

$$S_1 = \frac{Q_1}{T}$$

$$y \quad Q_2 = Q_1 + T, \text{ entonces:}$$

$$S_2 = \frac{Q_2}{T} = \frac{Q_1 + T}{T} = S_1 + 1$$

o si:

$$Q_2 = Q_1 - T$$

$$S_2 = \frac{Q_2}{T} = \frac{Q_1 - T}{T} = \frac{Q_1}{T} - 1 = S_1 - 1$$

Cuando un cuerpo sufre una transformación adiabática reversible su entropía queda constante y se dice que la transformación es isentrópica.

En efecto en este caso: $Q_1 = Q_2$ y por consiguiente:

$$S_1 = \frac{Q_1}{T} = \frac{Q_2}{T} = S_2$$

Pero la conclusión más importante de los trabajos de Clausius, y a la cual se refieren todas las citas anteriores es la siguiente: Cuando un sistema, aislado desde el punto de vista térmico, pasa de un estado a otro, la entropía no puede disminuir nunca; si las transformaciones son reversibles la entropía permanece invariable, pero *en toda transformación irreversible la entropía crece*.

Esta conclusión no se demuestra en su absoluta generalidad sino por la demostración de todos los casos particulares y la confirmación de todas las consecuencias (1).

De este aumento perpetuo de la entropía en la naturaleza, Clausius ha podido deducir que nuestro mundo tiene un sentido fijo, una evolución determinada, una marcha hacia un fin. En nuestras noticias sobre RANKINE y KELVIN, tenemos ocasión de volver sobre este aspecto de la cuestión de la entropía.

---

(1) Véase ARIES, obra citada, p, 54-56.
CHWOLSON, t. VII, p. 114.
GUILLEMINOT, obra citada, t. II, p. 436-439.

No podemos limitar nuestro estudio de Clausius a sus trabajos de termodinámica y debemos reseñar algunas más de sus obras en otros capítulos de la física.

En 1850, Clausius demostró, un año después de KELVIN, que la presión provoca la fusión del hielo a temperaturas inferiores a 0º (1).

Estudió el poder emisivo, cuatro años después de KIRCHHOFF, o sea en 1864, y basándose en los trabajos de éste, estableció la ley llamada de Kirchhoff-Clausius:

"El poder emisivo de los cuerpos absolutamente negros es proporcional al cuadrado del índice de refracción del ambiente" (2).

Clausius ha sido con KROENIG el verdadero fundador de la teoría cinética de los gases (3) a pesar de que HOOKE haya emitido, en 1662, por primera vez, la idea de los movimientos moleculares y que ésta se encuentre también en ensayos de LEIBNIZ, de MALEBRANCHE, de JACOBO BERNOULLI, de PARENT (4), de JUAN BERNOULLI y, con más precisión, en las obras de DANIEL BERNOULLI (1738) y más tarde en las de LESAGE, de PREVOST y de JOULE.

Tanto KROENIG (1856) como Clausius (1857) dieron una interpretación matemática de la teoría y concidieron en las hipótesis que atribuyen a las moléculas un movimiento rectilíneo de velocidad constante y que admiten movimientos de rotación y movimientos intramoleculares; pero Clausius cometió el error de creer que la velocidad de las moléculas es la misma para todos los gases.

Clausius escribió, de 1857 a 1862, tres memorias sobre la teoría cinética de los gases. En la primera repite,

---

(1) CHWOLSON, t. VII, p. 214.

(2) CHWOLSON, t. III, p. 308.

(3) CHWOLSON, t. II, p. 91; "Evolución de la mecánica" por P. DUHEM, Rev. Gen. des Sc., 1903, p. 171.

(4) ANTONIO PARENT (París 1666-1716), matemático y físico francés, miembro de la Academia de Ciencias, dejó como obra principal "Elementos de mecánica y de física" (1700). Fué partidario del concepto de BOYLE del calor-movimiento.

como acabamos de verlo, una teoría muy parecida a la de DANIEL BERNOULLI. En la segunda memoria, Clausius complica las hipótesis estudiando las fuerzas de atracción y de repulsión entre las moléculas. Según BOSCOWICH esa atracción sólo existe cuando las moléculas están a una distancia mayor de cierto límite; en el caso contrario la acción sería repulsiva, y, según MAXWELL, inversamente proporcional a la quinta potencia de la distancia. Más tarde, BOLTZMANN (1896-1898) completó la teoría cinética de los gases; pero reconoció que sólo da imágenes de lo que podría ser la constitución íntima del gas y que no se puede creer en ella como una realidad, ni admitir con firmeza la constitución atómica de los gases.

En 1880, Clausius corrigió la fórmula de VAN DER WAALS (1) para la compresibilidad de un gas a una temperatura dada:

$$\left(p + \frac{b}{v^2}\right)\left(v - a\right) = RT$$

En la que a y b son constantes especiales para cada gas, p la presión, v el volumen y $R = p_o. v_o. a.$

Consideró que la presión interior b de la fórmula de VAN DER WAALS (1873) depende de la temperatura T y que debe ser corregida la introducción de v^2 en la misma. Estableció así:

$$\left[p + \frac{b}{T\,(v + c)^2}\right]\left(v - a\right) = RT$$

(1) JUAN VAN DER WAALS, nació en Leyden en 1837 y murió en Amsterdam en 1923. Fué profesor del Liceo de Deventer (La Haya) y de la Universidad de La Haya desde 1877. En 1910, recibió el Premio Nobel.

Publicó en 1873, su disertación sobre "La Continuidad de los Estados Líquido y Gaseoso" que contiene su célebre ecuación.

Van der Waals se ocupó además de la teoría molecular, de la electrólisis, del calor y de la capilaridad.

En la que c es un nuevo parámetro característico del gas. Clausius perfeccionó todavía más esta ecuación en estudios posteriores (1).

En electricidad, estableció teóricamente, en 1852, la ley de JOULE y LENZ que, como lo hemos dicho al tratar de estos sabios, fué descubierta por JOULE (1841) comprobada por E. BECQUEREL (1843) y completada por LENZ (1844) (2).

En 1853, Clausius dió la teoría termodinámica de los fenómenos termoeléctricos antes que KELVIN (W. Thomson) y sin conocer por consiguiente el "efecto Thomson", que fué descubierto por éste en 1854 (3).

En 1857, Clausius dió su teoría de la electrólisis (4) cuyas leyes cuantitativas habían sido establecidas veinticuatro años antes por FARADAY (véase Kohlrausch y Helmholtz).

Todas las teorías de la electrólisis, anteriores a la de Clausius trataban de explicar cómo la corriente separa los iones del electrólito y vencen la afinidad química.

Entre estas teorías deben mencionarse especialmente la de GROTTHUS y DAVY, de 1807. Según éstos, cuando un electrólito está descompuesto por electrólisis, sus partes constituyentes se separan en la superficie de los electrodos, pero es imposible notar su presencia en la masa del electrólito. Suponían entonces que, al pasar la corriente, las moléculas del electrólito se colocan en cadena y adquieren una polarización tal que orientan hacia el ánodo su parte negativa y hacia el cátodo su parte positiva. Las moléculas extremas de la cadena se descomponen y sus mitades se dirigen hacia el electrodo, mientras que las mitades restantes forman nuevas moléculas enteras con mitades de moléculas vecinas.

Clausius opuso a estas teorías el hecho de que cualquiera intensidad de corriente provoca la electrólisis, mien-

(1) CHWOLSON, t. II, p. 53; GANOT, p. 273.
(2) CHWOLSON, t. IX, p. 184.
(3) CHWOLSON, t. X, p. 322.
(4) CHWOLSON, t. X, p. 247.

tras que si dichas teorías fuesen exactas, sólo podría producirse el fenómeno cuando la corriente fuese bastante intensa para vencer la afinidad química que une las moléculas del electrólito.

Consideró entonces que la electricidad no hace sino transportar iones que habían resultado de una disociación anterior de las moléculas, debida a los choques entre moléculas del disuelto con las del disolvente. Pero cada una de estas disociaciones espontáneas de las moléculas sólo existe durante breves instantes, pues los iones se vuelven a combinar inmediatamente para volver a disociarse de nuevo, repitiéndose constantemente estas asociaciones y disociaciones, mientras que la corriente dirige poco a poco iones libres hacia cada uno de los electrodos.

Esta teoría de Clausius, inspirada por otra parecida de WILLIAMSON (1851) ha sido confirmada por HITTORF, y ampliada por HELMHOLTZ, en 1880; pero es a ARRHENIUS (1887) que se debe el gran perfeccionamiento de la explicación de la electrólisis (véase Arrhenius).

En 1867, Clausius estudió el estado de los dieléctricos (1) en un campo eléctrico y se basó en la teoría de MOSSOTTI (1847) quien, a su vez, se había inspirado en la célebre teoría de la inducción magnética de POISSON. Veremos más adelante que KELVIN modificó esta última teoría, que HELMHOLTZ tomó en cuenta esta modificación y la introdujo en la teoría de MOSSOTTI y que más tarde DUHEM (1886) y POINCARE (1890) volvieron a ocuparse de la teoría de POISSON.

En 1870, Clausius defendió de las objecciones de BEZOLDA, la teoría de KOHLRAUSCH (véase) sobre formación de la descarga residual.

En fin, en toda la vasta parte de su obra dedicada a la teoría general de la electricidad y al estudio de fenómenos especiales, logró incluir la electricidad en el principio general de la energía.

---

(1) CHWOLSON, t. IX, p. 157.

KIRCHHOFF
(1824-1887)

Ley de Kirchhoff. Análisis espectral. El cuerpo negro absoluto. Radiación térmica y luminiscencia. Leyes de corrientes derivadas. Elasticidad de las placas y vibraciones de las placas vibrantes. Módulo elasticidad. Ley Kirchhoff-Clausius. Descargas oscilantes. Velocidad del sonido y resonancia. El éter. Vibración de las varillas. Método de determinación de la capacidad calorífica de los sólidos. Derrame de los líquidos. Magnetostricción.

GUSTAVO ROBERTO KIRCHHOFF nació en Koenigsberg en 1824 y murió en Berlín en 1887

Estudió en la Universidad de su ciudad natal y se inició en la enseñanza en Berlín. En 1850, fué nombrado profesor de física en Breslau; en 1854, ocupó una cátedra en Heidelberg y, desde 1875, fué profesor en la Universidad de Berlín y miembro de su Academia de Ciencias.

Kirchhoff fué colaborador de BUNSEN, amigo íntimo de HELMHOLTZ y profesor de HERTZ.

Su nombre se ha hecho especialmente célebre por su establecimiento del análisis espectral (1859), que ya hemos tratado en forma general en la biografía de su colaborador BUNSEN (véase). Pero por grande que sea esta obra de Kirchhoff, no debe eclipsar sus demás importantes trabajos.

En el estudio del análisis espectral (véase Bunsen), hemos visto que Kirchhoff estudió la energía calorífica radiante y que descubrió la célebre "ley de Kirchhoff", que establece que la relación entre el poder emisivo y el poder absorbente es una constante para todos los cuerpos colocados en iguales condiciones, y que esta constante es igual al poder emisivo de un cuerpo absolutamente negro.

Debe observarse que el enunciado de la ley de Kirchhoff se ha ido perfeccionando en la obra de este sabio desde su descubrimiento fundamental, en 1859, de que: "La rela-

ción común a todos los cuerpos del poder emisivo al poder absorbente es función de la longitud de onda y de la temperatura", hasta su expresión de 1882, según la cual "La relación del poder emisivo al poder absorbente es la misma para todos los cuerpos en la misma temperatura", y su definición exacta del cuerpo negro que CHRISTIANSEN y BOLTZMANN realizaron dos años más tarde (1884) con un cubo de latón con agujeros, forrado todo por una capa de plata, en el cual los agujeros son los cuerpos absolutamente negros.



KIRCHHOFF

Kirchhoff emprendió estas investigaciones con el fin de dar una base teórica a la inversión de las líneas espectrales, observada por FOUCAULT (véase), en 1849, y por ANGSTROM, en 1855 (véase BUNSEN). ANGSTROM también buscó una explicación teórica de este fenómeno y creyó encontrarla en un principio de resonancia que se debe a EULER; pero Kirchhoff consideraba esta demostración como demasiado problemática y tuvo la feliz idea de orientar sus investigaciones hacia el calor radiante. STOKES había corregido algunos errores de ANGSTROM en esta explicación, pero Kirchhoff rechazó la explicación afirmando que la "teoría de la resonancia y la de

la emisión y absorción de los rayos luminosos y caloríficos no han adelantado suficientemente para que puedan dar lugar a los elementos de demostración de dicha ley".

Esta afirmación de Kirchhoff no era absolutamente exacta pues se demostró más tarde que, a pesar de ligeras imperfecciones, la explicación teórica de ANGSTROM podía ser admitida; pero, gracias a esta opinión, Kirchhoff descubrió la ley que sirve de base a las teorías modernas de energía radiante (1).

Todos los casos de radiación no pueden ser comprendidos en la ley de Kirchhoff; los que le obedecen fueron llamados por HELMHOLTZ (1890) de "radiación térmica" y los que no le obedecen fueron llamados de "luminiscencia" por WIEDEMANN (1886). La distinción es categórica en algunos casos, como en la fluorescencia de los gases por ejemplo, como caso de luminiscencia; en otros casos, al contrario, como la radiación de los tubos de GEISSLER, es difícil establecer dicha distinción.

STEFAN (2) (1879), WIEN (1895) y PLANCK fueron los principales continuadores de Kirchhoff en esta cuestión.

---

(1) E. PRINGSHEIM, "Rayonnement thermique et luminescence", Scientia, 1918.

(2) JOSE STEFAN (Klagenfurt 1835-Viena 1893), físico austríaco, era profesor de la Universidad de Viena desde 1866, y, cuando murió, era vicepresidente de la Academia de Ciencias de Viena, a la cual pertenecía desde 1865. Sus trabajos interesan muchos capítulos de la física y especialmente el calor, la óptica, la electricidad y la acústica. De estos trabajos el que más frecuentemente recuerda su nombre es la conocida "ley de Stefan" (1879): La energía calorífica total de un radiador integral es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. (GANOT, p. 528; CHWOLSON, t. III, p. 264 y 296). Esta ley fué desarrollada por BOLTZMANN (1884) pero no fué establecida teóricamente sino por PLANCK en 1910, y, hasta esa fecha, fué muy discutida.

En el calor, deben recordarse también los estudios de Stefan sobre la evaporación y sus fórmulas sobre la velocidad de evaporación (CHWOLSON, t. VII, p. 239), la conductibilidad en los gases (1872) (CHWOLSON, t. VI, p. 372) y la difusión de los líquidos y de los gases (CHWOLSON, t. II, p. 252; HOPPE, Hist. de la Phys., páginas 123 y 150).

En óptica, se ocupó especialmente de la polarización, de la refracción y de las interferencias. En electricidad, completó la teoría de AMPERE para las corrientes inducidas y estudió teóricamente la fuerza por-

Fuera de este estudio más célebre de Kirchhoff, recordemos algunos otros de sus méritos científicos.

Ya en 1845, o sea catorce años antes del descubrimiento del análisis espectral, Kirchhoff, que tenía 21 años y era discípulo de NEUMANN, estableció las leyes de la derivación de la corriente.

El año anterior, WEBER ya se había ocupado de esta cuestión, relacionándola con el puente de WHEATSTONE y había comunicado sus resultados a POGGENDORFF, quien los citó y utilizó en un trabajo propio en 1846.

Kirchhoff estudió el problema general de la intensidad de las corrientes en magnitud y en sentido, en una red de conductores, y estableció que:

1°.—La suma de las intensidades de las corrientes en los conductores que se encuentran en un nudo es nula.

2°. En todo circuito cerrado perteneciente a la red, la suma de las fuerzas electromotrices es igual a la suma de los productos de las resistencias por las intensidades correspondientes de cada conductor que forma una sección del circuito (1).

Gracias a estas leyes, Kirchhoff empleó en el puente WHEATSTONE el método moderno de medidas de resistencias mientras que WHEATSTONE empleaba en dicho puente el galvanómetro diferencial.

Kirchhoff, en 1848, extendió estos estudios, en que se consideraban los conductores como lineales, a los conductores de cualquier forma.

En 1850, Kirchhoff publicó una memoria acerca de la elasticidad de las placas y, en ella, volvió a estudiar la teoría de las placas vibrantes de CHLADNI, haciendo la crítica de los importantes estudios que, sobre vibraciones de

---

tante de los electroimanes (CHWOLSON, t. XI, p. 405). En acústica, se recuerdan sus investigaciones sobre la velocidad del sonido relacionadas con las de WERTHEIM (1848) y de KUNDT (1866), basadas en las vibraciones longitudinales de varillas.

(1) CHWOLSON, t. X, p. 119 y sig.; WATSON, Curso de Física, p. 674; HOPPE, Hist. de la Phys., p. 573.

placas, realizaran la gran matemática SOFIA GERMAIN (1), de 1811 a 1815, y POISSON, de 1824 a 1829.

En 1859, se detuvo en la determinación del módulo de elasticidad de tracción, estudio en el cual continuaba la obra de CAUCHY (1828) y de WERTHEIM (1849).

En 1860, Kirchhoff estudió la influencia del medio sobre la transformación de la energía calorífica en energía luminosa y esos estudios fueron continuados por CLAUSIUS (véase), en 1864, llegándose así a demostrar que el poder emisivo de un cuerpo medio es proporcional al cuadrado de la velocidad de propagación de la energía radiante en ese medio, o sea el cuadrado de su índice de refracción. Esta "ley de Kirchhoff-Clausius" (2) fué confirmada por QUINTUS ICILIUS en 1866.

---

(1) SOFIA GERMAIN (París 1776-1831), célebre matemática francesa, era hija de un orfebre que tuvo cierta actuación en la Revolución Francesa, y ella también, a pesar de su poca edad, fué revolucionaria entusiasta, pero, espantada por el Terror, se encerró en sus habitaciones y se dedicó a la lectura de la "Historia de las Matemáticas" de MONTUCLA. Esta lectura despertó la vocación de Sofía Germain por las ciencias exactas, a cuyo estudio se dedicó con fervor a pesar de la oposición de sus familiares. Su primer éxito fué obtenido en Física-Matemática cuando se presentó al concurso realizado por la Academia de Ciencias, por orden del Emperador, sobre el tema siguiente: "Dar la teoría de la vibración de las placas elásticas y comparar los resultados con la experiencia".

LAGRANGE fué severo para la primera memoria que Sofía Germain presentara; POISSON fué más benévolo.

La matemática presentó cinco memorias sucesivas sobre el mismo punto, haciendo, en la ultima, el estudio de las placas de espesor variable. Durante mucho tiempo este trabajo no fué tomado en cuenta en la Historia de la Ciencia por haberse extraviado, así como otras comunicaciones de Sofía Germain sobre la elasticidad y particularmente sobre experiencias de WHEATSTONE. TODHUNTER, en su "Historia de la Elasticidad", da la debida importancia a este aspecto de la obra de la célebre matemática. No nos detendremos aquí en su importante colaboración a las matemáticas puras, y nos limitaremos a señalar que esa mujer excepcional fué también un filósofo cuyo valor queda especialmente demostrado en sus "Consideraciones sobre el Estado de las Letras y de las Ciencias en las Diferentes Epocas de su Cultura".

Un rasgo interesante: Sofía Germain en su importante correspondencia con los sabios de su tiempo, LAGRANGE, POISSON, LEGENDRE, GAUSS, etc., no sólo no se daba a conocer personalmente sino que ocultaba su sexo, firmando con un nombre masculino.

(2) CHWOLSON, t. III, p. 308; HOPPE, Hist. de la Phys., página 269.

En 1864, Kirchhoff intervino eficazmente en el estudio del fenómeno de las descargas oscilantes que RIESS, en 1837, ya diferenciaba de las descargas continuas, que LORD KELVIN estudió detenidamente y a las cuales FEDDERSEN dedicó toda su vida (1832-1918). (Véase HERTZ).

En 1868, Kirchhoff colaboró al progreso de la acústica dando una fórmula, ya señalada por HELMHOLTZ, para el cálculo de la velocidad del sonido en un tubo sonoro, y tratando teóricamente el problema del amortiguamiento de la resonancia, cuestión tratada también anteriormente por HELMHOLTZ (1859) y desarrollada más tarde por RAYLEIGH (1871) (1).

En 1876, debe señalarse el estudio de Kirchhoff del movimiento del éter en los medios cristalinos, en el cual suponía el éter sólido, homogéneo, elástico, de arrastre relativo, de densidad constante y sometido, en el límite de medios distintos, a presiones que dependen de la acción que sobre él ejerzan las partículas de dichos medios.

En 1879, Kirchhoff participó del estudio de las vibraciones de las varillas. Sabemos que EULER, POISSON (1824), CAUCHY, SEEBECK (1846), estudiaron el problema con varillas de sección constante. RAYLEIGH y Kirchhoff ampliaron el problema comprendiendo las varillas de sección variable, y Kirchhoff se especializó en las varillas cónicas, demostrando que la amplitud de su vibración es siete veces mayor que en una varilla cilíndrica de idénticas condiciones de materia y de duración de vibración.

En 1880, Kirchhoff estudió con HANSEMANN la capacidad calorífica de los sólidos en cubos metálicos por un método propio (2), cuestión tratada por distintos métodos por DULONG, FORBES, BERGET, ANGSTROM, KOHLRAUSCH, etc.

En la "Mecánica" de Kirchhoff de 1883, se encuentra un importante estudio de la "contractio venae" y del derrame de los líquidos, que ya hemos señalado anteriormente. (Véase HELMHOLTZ).

(1) CHWOLSON, t. III, p. 70.
(2) CHWOLSON, t. VI, p. 345-6; HOPPE, p. 259.

En 1885, recordemos, en fin, una interesante teoría de Kirchhoff de la magnetostricción o sea de la influencia del campo magnético sobre la forma de los cuerpos, como ya lo hemos dicho anteriormente, (véase JOULE), cuestión estudiada además por HELMHOLTZ, MAXWELL, DUHEM, BIDWELL (1885-1905) (1).

LORD KELVIN (W. THOMSON) (2) (1824-1907)

Teoría de los fenómenos eléctricos recogida por MAXWELL. Termodinámica: disipación de la energía, escala termodinámica absoluta de temperatura. Influencia de la presión sobre el punto de fusión. Inducción magnética en cuerpos anisótropos. Distribución de la electricidad en los conductores. Descarga oscilante. Electrómetro de cuadrante y electrómetro absoluto. Efecto de THOMSON. Corriente termoeléctrica a alta temperatura. El cable transatlántico. Galvanómetro de espejo. El "sifón recorder". El rellenador. El condensador de variación continua. Puente de THOMSON. Ondas acuáticas. Varillas y placas. El éter. Los electrones.

GUILLERMO THOMSON, el más grande físico británico de la segunda mitad del siglo XIX, nació en Belfast en 1824 y murió en Glasgow en 1907.

Desde la mitad del siglo XVII los antepasados de Thomson, originarios de Escocia, se habían instalado en Irlanda donde de generación en generación, se dedicaron a la agricultura. El padre de William Thomson, fué el primero que dejara el arado por los libros; fué profesor de matemáticas

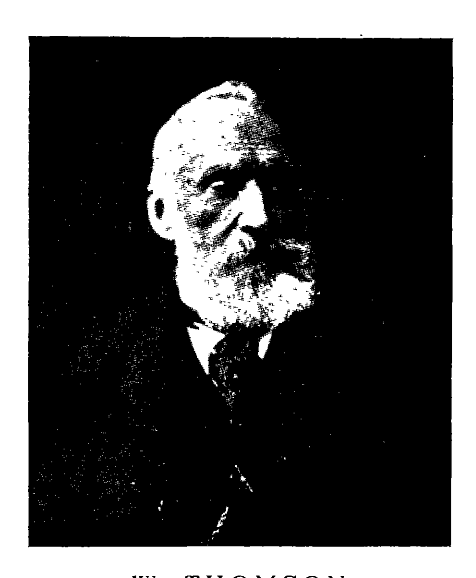
---

(1) CHWOLSON, t. XI, p. 408.

(2) Léase el elogio de Kelvin por E. PICARD en la Academia de Ciencias, el 22 de Dic. de 1919 (Revue Scientifique, 10 de Abril de 1920).

en la Institución Real de Belfast (1815) y nombrado más tarde profesor en la Universidad de Glasgow (1832).

Es por este motivo que, a los ocho años, William Thomson llegó a su país de origen, del cual su familia había permanecido alejada durante más de dos siglos, y es allí que el sabio que nos ocupa pasó toda su larga vida. En ese viaje de regreso de la familia Thomson a Escocia, William acompañaba a sus padres y a sus cinco hermanos, entre los cuales estaba JAIME THOMSON (1) (1822-1892), dos años mayor que él, quien debía también, aunque con menos gloria hacerse conocer por importantes trabajos de física.



W. THOMSON

William cursó brillantes estudios secundarios en la Universidad de Glasgow y demostró extraordinaria precoci-

(1) No deben confundirse pues a WILLIAM THOMSON o LORD KELVIN (1824-1907) con su hermano JAIME THOMSON (1822-1892) o con J. J. THOMSON (1856-?) o S. P. THOMSON los cuatro, físicos ingleses contemporáneos.

dad, recordándose especialmente que, a los quince o diez y seis años, sus libros favoritos eran las obras de POISSON, de LAPLACE, de LAGRANGE y sobre todo la "Teoría Analítica del Calor" de FOURIER, a la cual el sabio se complacía en atribuir una influencia capital sobre su formación intelectual.

A los diez y siete años, Thomson entró en la Universidad de Cambridge donde estableció inmediatamente su reputación de estudiante privilegiado; colaboraba en la revista científica de la Universidad; provocaba discusiones hasta con los profesores y resultó vencedor en una polémica con uno de ellos que pretendía negar aplicaciones generales a la serie de FOURIER; realizaba, fuera del laboratorio general, experimentos originales con aparatos construídos por él mismo; y, a pesar de esa actividad intelectual, bien inglés en todo, Thomson era un entusiasta y destacado cultor de los deportes, ese importante factor de la educación anglo-sajona.

En 1845, terminó sus estudios en Cambridge e hizo un viaje a París, donde pudo conocer a LIOUVILLE (1), CHASLES (2), STURM, CAUCHY, BIOT y REGNAULT, quienes lo acogieron con simpatía y le hicieron conocer interesantes aspectos del intenso movimiento científico, teórico y experimental, de la mitad del siglo XIX.

Después de pocos meses pasados nuevamente en la Universidad de Cambridge, Thomson ocupó, en 1846, la cátedra de "Filosofía Natural" de la Universidad de Glasgow, y ese momento puede ser considerado como el punto de partida de su carrera científica.

En 1847, — cuando tenía 23 años, — hizo conocer un trabajo sobre los fenómenos eléctricos y los fenómenos elásticos y MAXWELL tomó ese trabajo como base de su célebre obra conjuntamente con el concepto de "campo de fuerza" de FARADAY. Es de notar, sin embargo, que Thomson no fué un partidario entusiasta de la teoría elec-

(1) LIOUVILLE (Saint-Omer 1809-París 1882), matemático francés.
(2) CHASLES (Epernan 1793-París 1880), matemático francés.

tromagnética de MAXWELL, que admitía, pero a la cual hubiera preferido una teoría derivada de la teoría del potencial. Aun al final de su larga vida, en 1904, exponía sus dudas acerca de los resultados efectivos de la teoría de MAXWELL.

En 1851 y 1852 aparecieron las tres memorias de Thomson, que le merecen hacerle compartir con SADI CARNOT, MAYER y CLAUSIUS, el glorioso título de fundador de la termodinámica.

De 1850 a 1860, realizó la mayor parte de sus grandes trabajos de electricidad, que comprenden estudios puramente analíticos que lo colocan al nivel de AMPERE, GAUSS y WEBER, y trabajos experimentales e industriales que denotan en él a un ingeniero experto. Y es ésta una de las características esenciales del espíritu de este sabio: Thomson supo ser a la vez, matemático profundo fundador de teorías abstractas, técnico hábil y servicial, siempre dispuesto a acudir en ayuda de los numerosos fabricantes y constructores que pedían sus consejos en cuestiones a veces banales. Fué, además, un hombre de negocios íntegro y fuerte, y supo realizar un enorme caudal con la explotación industrial de sus numerosos inventos.

Debe observarse, sin embargo, que su interés en las cuestiones prácticas fué desarrollándose en él con la edad; las obras absolutamente teóricas son más numerosas en su juventud, y es al final de su vida que pronunció esta frase, tan admirada por algunos como criticada por otros: "Si puedo hacer un modelo mecánico, entiendo; si no puedo hacer un modelo mecánico, no entiendo".

En 1868, la reina Victoria entregó el título de "caballero" a Thomson, quien acababa de cooperar a la instalación del cable transatlántico entre Irlanda y Norteamérica. Fué especialmente esta obra de Thomson la que hizo penetrar hasta en la masa del pueblo la celebridad que ya había sabido conquistar entre los sabios del mundo entero por sus estudios originales así como por su célebre "Tratado de Fi-

losofía Natural" que publicó, en 1865, en colaboración con TAIT (1).

Thomson fué uno de los miembros más activos de la comisión de la Asociación Británica encargada en 1861 del estudio de las medidas eléctricas; y, en 1881, en el Congreso Internacional de París, se unió al francés MASCART (2) en la larga discusión que se originó acerca de esas medidas y de sus denominaciones, para oponerse a los argumentos de HELMHOLTZ y de CLAUSIUS que querían dar el nombre de "weber" a la unidad de "ampere". (Véase la biografía de WEBER).

En 1893, Thomson fué nombrado par de Inglaterra y eligió como título el de "LORD KELVIN", adoptando así el nombre de un pequeño río que atraviesa la ciudad de Glasgow, la ciudad de sus antepasados que le había otorgado, en 1866, el título honorífico de "burgués".

Lord Kelvin, que como sabio había sido tan multiforme, ocupó con igual capacidad su asiento en la Cámara de los Lores y, al opuesto de NEWTON, intervino eficazmente en repetidas ocasiones.

---

(1) PEDRO GUTHRIE TAIT (Dalkeith, Escocia, 1831-Edimburgo 1901)). Trás brillantes estudios en Edimburgo y en Cambridge, fué nombrado profesor del Queen's College de Belfast. En 1860, abandonó este puesto para ocupar la cátedra de Física de la Universidad de Edimburgo a la que Tait había presentado su candidatura conjuntamente con su compatriota y amigo CLERK MAXWELL; y ocupó este cargo hasta su muerte.

Todos los númerosos trabajos de Tait pertenecen ya a las matemáticas puras ya a la física-matemática. Entre ellos debe hacerse especial mención de su "Dinámica molecular" (1856), de su "Tratado de Filosofía Natural" en colaboración con KELVIN así como su "Universo Invisible", su "Termodinámica" (1868), su estudio del "Teorema de GREEN" (1870), sus "Nuevos progresos de las ciencias físicas' (1876), "Calor y Luz" (1885), "Propiedades de la materia" (1885) e importantes memorias acerca de los torbellinos, de la superficie de onda, de la teoría cinética de los gases, de la duración del choque, etc. Además de KELVIN y de MAXWELL, Tait contó entre sus amigos y colaboradores a ANDREWS y al matemático HAMILTON.

(2) ELEUTERIO MASCART (Quarouble 1837-París 1908), ex-alumno de la Escuela Normal, doctor en ciencias (1864), profesor de física en el Colegio de Francia, miembro de la Academia de Ciencias, se ocupó de electricidad, en que se recuerda su aislador (CHWOLSON, t. IX, p. 38) y de óptica, en que se recuerdan sus estudios sobre longitud de onda, la dispersión, los rayos ultravioletas, las interferencias, la polarización y la refracción.

En 1899, renunció a la cátedra que tan brillantemente había ocupado durante cincuenta y tres años en la Universidad de Glasgow, pero no renunció a sus actividades científicas que prosiguió con extraordinaria energía hasta el fin de su larga vida.

Lord Kelvin fué un sabio feliz; no sufrió ni de la indiferencia ni de la envidia; fué venerado por sus compatriotas; reunió una importante fortuna y gozó de las mayores glorias científicas. Fué miembro de la Sociedad Real de Londres, que presidió de 1890 a 1895, fué asociado extranjero de la Academia de Ciencias de París, miembro de la Sociedad Real de Edimburgo, de la Sociedad Geográfica de Glasgow, que presidió en 1872, de la Asociación Británica que presidió en 1871, y de la Academia de Ciencias de Roma; fué comendador de la Legión de Honor, etc.

Para estudiar la inmensa obra de Thomson se necesitaría escribir muchas páginas, si no volúmenes; nos limitaremos aquí a recordar brevemente las partes de la física en las cuales más a menudo se cita su nombre.

En termodinámica estableció, en 1851, su célebre postulado según el cual "No se puede obtener trabajo con un cuerpo de temperatura más baja que la de los cuerpos que lo rodean". Enunció este postulado en una gran memoria sobre el calor, que presentó a la Sociedad de Edimburgo, pero reconoció que este enunciado no se diferenciaba, en el fondo del de CLAUSIUS (véase). Al año siguiente (1852) publicó dos memorias más cortas en las cuales aparecen los términos de "disipación de la energía utilizable por el hombre", expresión que TAIT transformó más tarde en la de "degradación de la energía" (1), de concepción más fácil que la "entropía" de CLAUSIUS. La energía se "degrada", se "disipa", es decir, que disminuye el total de energía transformable en trabajo a pesar de que se conserve la energía

(1) Véase: BRUNHES "La Dégradation de l'énergie", p. 236-243; CHWOLSON, t. VII, p. 98.

total. De allí se deduce la imposibilidad del movimiento perpetuo y se llega también a la atrevida conclusión de que el mundo marcha hacia su fin.

En su estudio del calor, Thomson estableció la célebre "escala absoluta de temperatura" que lleva su nombre y cuya graduación absolutamente racional no depende de las propiedades físicas de un cuerpo sino de los cambios de cantidad de calor aunque sus indicaciones coinciden casi rigurosamente con las del termómetro normal de hidrógeno (1).

Debemos recordar aquí que, en 1802, DALTON y GAY-LUSSAC llegaron conjuntamente al concepto del cero absoluto como temperatura en la cual la presión del gas se anula y que GAY-LUSSAC, quien dedujo este concepto de su conocida fórmula, propuso la escala termométrica absoluta. DALTON, por su parte, proponía fijar cada grado de temperatura de acuerdo con una fracción constante del volumen anterior haciendo de la escala una progresión geométrica en lugar de una progresión aritmética. En 1847, PERSON había vuelto a proponer el cero absoluto como base de escala termométrica, pero su cero correspondía a —160º y estaba fundado en el calor latente.

Es en el curso de esos trabajos que Thomson dudó de la exactitud de la ley de JOULE, que establece que un gas que se dilata no gasta ninguna energía propia. Propuso entonces a JOULE, que era su amigo, realizar un experimento de verificación; así se hizo y se demostró lo bien fundado de sus sospechas, pues se comprobó que los gases que se comprimen más de lo establecido por la ley de BOYLE-MARIOTTE, se enfrían al dilatarse en el vacío. (2).

William Thomson relató también en su memoria acerca del calor, sus experimentos de 1850 sobre el descenso del punto de fusión del hielo cuando se aumenta la presión, experimentos con los cuales llegó a confirmar los resultados teóricos obtenidos por su hermano JAIME, quien, en 1849, había deducido de las fórmulas de termodinámica, como lo

(1) CHWOLSON, t. VII, p. 102.
(2) GANOT, p. 321.

volviera a hacer CLAUSIUS al año siguiente, que ese descenso de temperatura debía ser de unos 0°.00753 por atmósfera (1). Kelvin empleó para estos experimentos una especie de piezómetro (2) y obtuvo los siguientes resultados:

Descenso del punto de fusión del hielo a 7,1 atmósferas: 0°.0582
Descenso del punto de fusión del hielo a 15,8 atmósferas: 0°.1295
Descenso del punto de fusión del hielo a 300 atmósferas: 2°

CLAUSIUS y MOUSSON (1858) continuaron estas experiencias de Thomson.

Después de la termodinámica, Thomson se ocupó de electricidad.

En 1851, estableció su teoría de la inducción magnética en los cuerpos anisótropos poco magnéticos (3) y ésta fué comprobada por muchos sabios.

Dos años más tarde o sea en 1853, estudió el problema de la distribución de la electricidad en los conductores y especialmente en dos esferas (4), problema que ya había encontrado una solución en el método de POISSON. Kelvin se inspiró en este trabajo en la teoría que había establecido en 1847, en Cambridge, sobre las imágenes eléctricas. Esta teoría en que había continuado, empleando el análisis, un estudio experimental de FARADAY, fué utilizada por MAXWELL, su colega de Universidad, como acabamos de señalarlo.

"Precursor de MAXWELL" es sin duda un título valioso y como podemos agregarle también el de "precursor de HERTZ", queda demostrado que Thomson, además de haber hecho importantes descubrimientos e inventos, ha señalado grandes rumbos a la ciencia.

En efecto, en 1855, Thomson publicó su "Memoria acerca de las Oscilaciones Eléctricas", y en ella no llegó a

(1) GANOT atribuye equivocadamente a KELVIN esta observación (p. 243).
(2) CHWOLSON, t. VII, p. 214; TURPAIN, "Leçons élémentaires de physique", t. II, p. 295.
(3) CHWOLSON, t. XI, p. 477-8.
(4) CHWOLSON, t. IX, p. 149-50.

demostrar la existencia de radiaciones eléctricas en el espacio, como lo hizo HERTZ, pero estableció que las chispas que se producen entre dos condensadores son oscilatorias como el movimiento del péndulo, a causa de descargas en sentidos alternativamente opuestos, de duración igual y debidas a disminuciones de potencial comparables a la disminución de la amplitud de las oscilaciones pendulares. Los oscilógrafos permiten ahora demostrar que Thomson estaba muy cerca de la verdad cuando deducía de esa hipótesis la duración del período de las oscilaciones eléctricas, por la fórmula siguiente: $t = 2\pi\sqrt{C.L}$ en que C es la capacidad del conductor y L su longitud. En la biografía de KIRCHHOFF, acabamos de ver que este sabio estudió las descargas oscilatorias en el año 1864 y hemos recordado que RIESS, en 1837, ya las diferenciaba de las descargas continuas.

Fué también en 1855, que Thomson construyó su electrómetro de cuadrantes, el que, en 1860, fué establecido como electómetro absoluto y significó un gran progreso en la evolución del electrómetro y especialmente de los modelos derivados de la balanza de COULOMB, como lo eran el electrómetro de PELTIER (1836), el de DELLMANN (1841) perfeccionado por R. KOHLRAUSCH (1847) y el de RIESS (1855) basado en el de PELTIER.

En 1856, Kelvin se ocupó de termoelectricidad. Dió una teoría de las corrientes termoeléctricas en las substancias cristalinas (2), descubrió el conocido "efecto Thomson" o sea que en un conductor homogéneo se producen corrientes termoeléctricas cuando la temperatura no está igualmente repartida, y observó que en un mismo metal puede darse lugar a corrientes termoeléctricas por simple deformación por acciones mecánicas, como la tracción, por ejemplo (3). Emitió la hipótesis, explicativa del "efecto Peltier" y del "efecto Thomson", de que la corriente trasmite el calor y que en el cobre esta trasmisión se debe a la corriente

(1) CHWOLSON, t. IX, p. 36, 316 y 28; GANOT, p. 782.
(2) CHWOLSON, t. X, p. 300.
(3) CHWOLSON, t. X, p. 301.

positiva, mientras que en el hierro se debe a la corriente negativa. En este mismo estudio de termoelectricidad, Thomson observó — como ya lo había señalado CUMMING en 1823 — que a muy alta temperatura la intensidad de la corriente termoeléctrica ya no es proporcional a esa temperatura; que llega un momento en que se detiene su aumento de intensidad por más que la temperatura se eleve, y que aún se logra una inversión de la corriente. AVENARIUS, en 1863, dió la explicación completa del fenómeno (1).

Hemos dicho que Thomson colaboró en los trabajos del cable transatlántico entre Irlanda y Terranova, de 1858 a 1866, y resumiremos aquí brevemente la historia de esta colosal empresa (2).

Ya en 1840, WHEATSTONE había propuesto a la Cámara de los Comunes la instalación de un cable telegráfico submarino entre Douvres y Calais y dió las explicaciones teóricas necesarias.

MORSE, dos años más tarde, realizaba experimentos en el puerto de Nueva York, demostrando la posibilidad de estas instalaciones, y proponía la unión telegráfica de Europa con América. En 1849, un nuevo factor vino a facilitar la anhelada realización del proyecto, pues se introdujo en Europa la gutapercha, y este jugo vegetal recogido en Oceanía fué reconocido como un aislador eléctrico ideal.

WOLLASTON, JACOBO BRETT y CRAMPTON (3), colocaron, en 1850, un cable entre Francia e Inglaterra, pero éste se rompió después de haber comunicado un solo mensaje. Nuevos esfuerzos de WOLLASTON y CRAMPTON tuvieron un completo éxito, pues el cable que colocaron en 1851 fué utilizado hasta 1889.

El nuevo invento se propagó y fueron unidos telegráficamente Constantinopla, Varna y Sebastopol (1854), para las necesidades de la guerra de Crimea; Suecia y Dina-

---

(1) CHWOLSON, t. X, p. 306; HOPPE, Hist. de la Physique, página 231.

(2) Véase Figuier "Les Merveilles de la Science", t. II, p. 226-284 y Pitoni "Storia della física", p. 281-283.

(3) TOMAS B. CRAMPTON (Kent 1816-1888), mecánico inglés, inventó una locomotra y se ocupó de telegrafía submarina.

marca por el Sund (1854); Italia y Sicilia (1855); Suiza y Alemania por el Lago de Constanza (1856); Italia, Córcega, Cerdeña y Argelia (1857); San Petersburgo y Kronstadt (1857); el Mar Rojo y el Golfo Pérsico (1862) (1), etc.

En 1854, gracias a la perspicacia y generosidad del capitalista Cyrus Field, se fundó en Nueva York una compañía trasatlántica que, después de oir la opinión del Comandante MAURY, director del Observatorio, y de MORSE, decidió dar principio a los trabajos de instalación del cable submarino entre el viejo mundo y el nuevo desde la Isla de Valentia (S. O. de Irlanda) hasta cerca de San Juan (Terranova). Pero debe notarse que si la iniciativa se debe a los americanos, fueron el gobierno y el pueblo ingleses que le dieron la mejor acogida y la principal ayuda. En 1857, dos fragatas americanas y tres inglesas, hicieron la primera tentativa de colocación del cable, que había sido fabricado en Inglaterra, pero una corriente submarina provocó su ruptura a unos 450 kilómetros de las costas de Irlanda. En 1858, una nueva tentativa fué hecha y esta vez un barco inglés y otro americano, llevando cada uno una mitad del cable, se encontraron en pleno mar a la mitad del camino, a distancias iguales de los dos continentes; soldaron los extremos del cable y emprendieron su marcha, uno hacia América, el otro hacia Europa. El 5 de agosto de 1858, se envió el primer mensaje telegráfico trasatlántico, en medio de un frenético entusiasmo que se trocó en el mayor desaliento cuando, un mes después de esa fecha, las comunicaciones se hicieron cada vez más difíciles hasta quedar completamente interrumpidas. El gobierno inglés nombró entonces una comisión de sabios para estudiar de un modo amplio y general el problema de los cables submarinos; de esa comisión formaban parte Thomson, WHEATS-

(1) El encargado de la instalación de esta línea, que permitía unir Inglaterra con India, era LATIMER CLARK (1822-1898). Este físico e ingeniero inglés ya se había hecho conocer en 1854, por su invento del "correo neumático", empleado aún en nuestros días. Realizó meticulosos estudios sobre los cables submarinos, estableció sus leyes e inventó una pila, empleada como tipo para medidas de fuerza electromotriz.

TONE, WHITEHOUSE, WITHWORTH, FAIRBAIRN (1) y VARLEY.

Thomson inventó en esa ocasión su galvanómetro de espejo (2), que fué empleado como receptor en lugar del aparato de MORSE, por ser más sensible y permitir el empleo de una corriente bastante débil para disminuir considerablemente los fenómenos de inducción dentro del cable Este invento marcó un importante progreso en galvanometria, cuya historia se sigue desde el descubrimiento de OERSTED (1819) a través de los multiplicadores de SCHWEIGGER y de POGGENDORFF, del galvanómetro de NOBILI, del galvanómetro diferencial de BECQUEREL y del de espejos de WEBER, perfeccionado por WIEDEMANN.

A fines de julio de 1865, Thomson y VARLEY se embarcaron en el "Great Eastern", el vapor más grande de la época, y se dió principio a la colocación del nuevo cable desde Valentia. Los Estados Unidos, que recién salían de su terrible guerra civil (1861-65), no participaron oficialmente en esta tercera tentativa. Después de numerosas peripecias, cuando ya se había colocado más de las dos terceras partes del cable, éste se rompió y el "Great Eastern" volvió a Europa.

El 13 de julio de 1866, se volvió a tentar la difícil empresa con un cable nuevo que quedó definitivamente instalado en una travesía de catorce días. Se hizo más aún: el "Great Eastern" volvió al lugar en que, pocos meses antes, había abandonado el cable roto, lo sacó del fondo del mar, lo soldó con otro cable y, el 8 de setiembre, completó la obra, quedando así instaladas dos líneas transatlánticas en vez de una.

En 1867, Thomson perfeccionó su galvanómetro con el "sifón recorder" (3), que debe su nombre al pequeño sifón con tinta que inscribe en el papel las oscilaciones del

---

(1) GUILLERMO FAIRBAIRN (1789-1874), mecánico y fuerte industrial escosés.

(2) GANOT, pág 669 y 852; CHWOLSON, t. XI, pág. 592.

(3) GANOT, p. 852; CHWOLSON, t. XI, p. 594.

galvanómetro. Colaboró también con VARLEY en el invento de condensadores que permiten impedir las irregularidades provocadas por los cambios de sentido de la corriente en el cable, e indicó un método nuevo para determinar la capacidad eléctrica de un cable (1), etc.

En electricidad, deben citarse todavía entre los numerosos descubrimientos e inventos de Thomson: su "replenisher" (rellenador) o sea su máquina eléctrica de influencia que sirve para mantener en una carga determinada a un aparato cualquiera (2), y su condensador de variación continua. (3).

En electricidad atmosférica, Kelvin comprobó que el potencial eléctrico aumenta con la altura y realizó los experimentos necesarios con un electrómetro provisto de una punta en cuyo extremo reemplazó las materias en combustión empleadas por VOLTA, por un "colector de agua" o sea un pequeño recipiente del que se derrama continuamente el agua (4).

Citemos todavía el puente de Thomson (5) que, como el de WHEATSTONE, sirve para determinar la resistencia de un conductor; la regla de Thomson estudiada por BOSSCHA (6) y corregida por HELMHOLTZ (véase) y que consiste en establecer una igualdad absoluta entre la fuerza electromotriz de una batería y el trabajo que produce; y agreguemos aún, su teoría de la electricidad producida por

(1) CHWOLSON, t. IX, p. 343.
(2) GANOT, p. 758; WATSON, p. 648.
(3) CHWOLSON, t. IX, p. 338.
(4) CHWOLSON, t. IX, p. 370; GANOT, p. 883.
(5) CHWOLSON, t. X, p. 129.
(6) JUAN BOSSCHA (Breda 1831-Haarlem 1911), estudió en Leyden donde recibió su título de doctor en ciencias en 1854. Fué profesor de física de la Escuela Politécnica de Delft desde 1873 y director de la misma de 1876 a 1885. Se ocupó del equivalente mecánico del calor, de electricidad y de acústica. Imaginó un método original para la determinación de la velocidad del sonido. Alejaba uno de otro dos aparatitos en que pequeños martillos daban al unísono diez golpes por segundo y el observador que seguía a uno de los aparatos volvía a percibir el sincronismo de los martilleos cada vez que la distancia era recorrida por el sonido en un tiempo múltiple de un décimo de segundo (CHWOLSON, t. II, p. 71).

los cristales por simple cambio de temperatura o piro-electricidad (véase CANTON).

En 1865, TAIT y Thomson escribieron su famoso "Tratado de Filosofía Natural", tan original en sus conceptos como profundo en su exposición y en sus razonamientos matemáticos. Allí se encuentran las teorías de las vibraciones de las varillas y de las placas (1), un estudio amplio de los movimientos girostáticos y estudios de elasticidad, de termodinámica, etc.

En 1871, en el estudio de la propagación de las ondas acúaticas (véase WEBER), Kelvin insistió sobre la influencia de la tensión superficial, y su colaborador TAIT se basó en este trabajo para buscar en las ondas verticales, la explicación de la tensión superficial. Sirvió también dicho estudio de Kelvin de base al trabajo de Lord RAYLEIGH sobre ondas acúaticas (2).

En 1874, Thomson y TAIT propusieron un método de gran precisión para la determinación de la forma de la Tierra con el péndulo, continuando así la obra de CLAIRAUT (1743) que, como lo hemos visto, fué ampliada por LAPLACE y por STOKES (1848).

El pueblo inglés, siempre interesado en los progresos de las ciencias naúticas, admiraba sobre todo a Kelvin por los valiosos instrumentos navales que estudiaba y experimentaba a bordo de su yate particular. Entre estos estudios especiales recordaremos su solución de la compensación de la brújula de los barcos, problema que, como lo hemos visto ya, había preocupado a sabios como POISSON y AIRY.

Thomson, tan profundo matemático y teórico como práctico e ingenioso inventor, se aventuró también en el atrayente y peligroso campo de la filosofía científica e imaginó teorías sobre la naturaleza de la materia. Estableció una hipótesis de los "átomos torbellinos" o "vórtices" según la cual la materia estaría formada por especies de torbellinos anulares semejantes a los anillos de humo que hacen

(1) CHWOLSON, t. III, p. 117 y 140.
(2) HOPPE, Hist. de la Phys., p. 169.

los fumadores; pero Thomson mismo abandonó esta suposición basada en los cálculos de HELMHOLTZ sobre movimiento de vórtice (1).

Consideraba la existencia del éter como indiscutible y le atribuía una elasticidad perfecta, una comprensibilidad infinita y una densidad tan pequeña que una esfera de éter igual a nuestro globo sólo pesaría diez mil toneladas, y se oponía a los cálculos de GREEN, estableciendo que la velocidad de las vibraciones longitudinales del éter es infinitamente pequeña.

Admitía los electrones que llamaba "electriones" y les atribuía la propiedad de condensar o rarefacer el éter que contienen, según su signo. Hizo una curiosa representación del electrón, que fué modificada más tarde por J. J. THOMSON; según ella, la electricidad positiva estaría repartida en todo el volumen esférico de la dimensión del átomo y los electrones negativos formarían en ella, anillos concéntricos en un sólo plano o especies de capas concéntricas que recordarían la estructura de una cebolla. Kelvin no llegaba sin embargo a considerar a esos electrones como la esencia misma de la materia o según el decir de RIGHI, "la causa primera de todos los fenómenos del mundo físico..."

Hasta el último día de su vida, Kelvin siguió con atención el movimiento científico y conservó esa actividad intelectual que le había permitido colaborar durante tantos años en el progreso de casi todos los capítulos de la física.

GRAMME
(1826-1901)

Máquinas eléctricas de corriente alterna, de galvanoplastía. La dínamo. El anillo de Gramme.

ZENOBIO TEOFILO GRAMME, el "Edison belga", nació en 1826 en Jehay, Bodegner (provincia de Lieja) y murió en Bois de Colombes, cerca de París, en 1901.

(1) WATSON, Curso de Física, p. 131.

Hijo de humildes obreros cargados de hijos, Gramme apenas sabía leer y escribir cuando dejó la escuela para entrar de aprendiz en un taller de carpintería. Frecuentó las escuelas nocturnas, estudió el dibujo y la geometría y a los treinta años (1856), se fué a París. El tratado elemental de GANOT fué su maestro de física y así mismo el asíduo obrero debía recurrir al diccionario para explicarse algunos términos que le eran desconocidos.

En 1860, su compatriota VAN MALDEREN le consiguió un puesto de modelador en la Sociedad "L'Alliance" de la cual él mismo era capataz. En esa empresa se construían máquinas magnéticas para los faros eléctricos y Gramme se puso tan al corriente de sus nuevas tareas y aprovechó tan felizmente sus rudimentarios conocimientos científicos que propuso a sus patrones perfeccionamientos de maquinarias que fueron adoptados con todo éxito.

En 1867, después de haber pasado algún tiempo en los talleres de RUHMKORFF y DISDERI, Gramme animado por una fe absoluta en el valor de varios proyectos de su invención, abandonó el oficio y afrontó la miseria. Cocinaba en su laboratorio; dejaba a su mujer y a su hija el penoso deber de proveer las necesidades de la casa mientras él estudiaba.

Los resultados fueron felizmente rápidos: en 1867, patentó varias máquinas de corriente alterna; en 1870, inventó la máquina de cuatro polos; en 1872, imaginó una máquina de galvanoplastía; en 1873, construyó la primera máquina industrial para el alumbrado y, en 1874, inventó la máquina que lleva su nombre, y alcanzó con ella la fortuna y la gloria.

Ni los títulos honoríficos, ni los grandes beneficios, ni la satisfacción de ver la industria revolucionada por sus inventos pudieron vencer la natural modestia del obrero de Lieja.

Gramme ha sido el inventor de la primera dínamo de valor industrial; pero debemos recordar aquí cuales fueron sus principales precursores desde que FARADAY abriera el camino a este invento con el descubrimiento de la inducción electromagnética, en 1831 y 32.

En 1832, PIXII construyó el primer electromotor que consistía en un electroimán fijo delante de cuyos polos pasan alternativamente los polos de un imán permanente que se hace girar por medio de una manija. La corriente inducida en el electroimán es naturalmente alterna y, como esto era considerado como un grave inconveniente, se proveyó al aparato del conmutador inventado por AMPERE.

En 1833, SAXTON construyó un motor parecido al de PIXII, pero en el cual el imán permanente era fijo y el electroimán movible. El electricista inglés, EDUARDO CLARKE construyó, en 1835, un motor en que también era móvil el electroimán, pero, en lugar de colocar los dos imanes en un mismo plano vertical, colocó verticalmente el imán permanente e hizo girar el electroimán alrededor de un eje horizontal; agregó además el conocido "conmutador de Clarke".

En la época de los PIXII, SAXTON y CLARKE, deben citarse también los nombres de DAL NEGRO (1832), RITCHIE, WATKINS, ETTINGHAUSEN (1), POGGENDORFF, PETRINA, JACOBI (1834), WAGNER (1840), etc.

En 1841, WHEATSTONE y COOK agruparon las bobinas del inducido para que la corriente fuese continua y reemplazaron el imán permanente por un electroimán.

En 1844, PALMIERI (2) construyó una máquina en que se utilizaban corrientes inducidas por la tierra.

En 1848, JACOBO BRETT imaginó la autoexcitación de la dínamo. Al año siguiente, NOLLET, descendiente de la familia del célebre abate NOLLET y profesor de la Escuela Militar de Bruselas, y su compatriota VAN MALDEREN, el amigo de Gramme, construyeron para la Sociedad Alianza, la máquina de corrientes alternas (tipo

---

(1) ANDRES BARON DE ETTINGHAUSEN (Heidelberg 1796-1878), doctor en leyes y profesor de física en Inspruck (1819), luego de matemáticas superiores en Viena (1822) y de física (1834), fué secretario de la Academia de Ciencias.

(2) LUIS PALMIERI (Benevento 1807-Nápoles 1882), fué profesor de física en la Universidad de Nápoles y director de la estación meteorológica del Vesubio. Inventó un electroimán, un sismógrafo y un pluviómetro.

CLARKE) más perfecta y poderosa que se conociera hasta esa fecha. Esta máquina se usaba todavía en 1890, para el alumbrado de los faros.

En 1859, SIEMENS y HALSKE perfeccionaron grandemente la máquina con el arrollamiento longitudinal del hilo en el cilindro de hierro dulce (véase SIEMENS)

En 1866, el mismo SIEMENS observó que para provocar la autoexcitación magnética de la máquina no era necesario proveer el electroimán de un dispositivo especial, pues el hierro dulce tiene bastante magnetismo remanente para permitir a la máquina de empezar el funcionamiento A SIEMENS se debe el nombre de "máquina dinamoeléctrica" con que designó esta máquina de 1866.

En 1864, PACINOTTI (1), de Pisa, inventó una máquina reversible en que se suprimía el conmutador y se evitaba la irregularidad causada por el alejamiento y el acercamiento de los polos por medio de un inducido formado por un anillo alrededor del cual se arrollaba el hilo.

Que Gramme haya o no conocido la descripción de PACINOTTI — cuestión difícil de resolver, — es indiscutible que el sabio italiano fué precursor del invento del célebre "anillo de Gramme"; pero es indiscutible también que, en el peor de los casos, fué Gramme quien resolvió la cuestión técnica de la construcción de la dínamo moderna.

Gramme, a pesar de su preparación científica reducida, no se limitó a la técnica y creyó poder encontrar alguna solución de los misteriosos problemas de la constitución de la materia. En una obra póstuma, titulada "Las hipótesis científicas de Zenobio Gramme" y publicada por la "Bibliothèque Scientifique Internationale", la viuda del inventor reunió algunos manuscritos en que se encuentra una hipótesis eléctrica de la constitución de la materia, que supone que el éter está formado por partículas de electricidades contrarias.

---

(1) ANTONIO PACINOTTI (Pisa 1841-1912), era hijo de un profesor de física, tiene todo el mérito del invento de su anillo; pero lo hizo como profesor, como experimentador, mientras que GRAMME lo hizo como industrial y le dió su aplicación.

TELLIER
(1828-1913)

La industria del frío.

CARLOS TELLIER, el "padre del frío", nació en Amiens en 1828 y murió en París en 1913, en la mayor miseria.

Dedicó toda su vida al estudio del frío artificial, y es gracias a sus esfuerzos que la industria frigorífica, una de las principales fuentes de riquezas de los países de América, ha llegado al grado de progreso en que se encuentra.

Desde 1855, Tellier se ocupó del estudio de la producción del frío. Esta cuestión ya tenía su historia (1).

En 1662, BOYLE había imaginado los primeros procedimientos de enfriamiento por las mezclas refrigerantes. En 1685, LAHIRE perfeccionó esos procedimientos y congelaba agua con sal amoníaco. En 1755, CULLEN, en Escocia, helaba agua por el vacío de la máquina neumática

NAIRNE observó que el ácido sulfúrico absorbe rápidamente el vapor de agua, y LESLIE, en 1811, aprovechó esta observación y, colocando agua y ácido sulfúrico en recipientes separados bajo la campana de la máquina neumática, provocaba la congelación del agua por su rápida evaporación. FARADAY, en fin, en 1823, observó el gran enfriamiento provocado por la evaporación del amoníaco liquefiado.

Después de estos precursores principales vinieron los realizadores.

En 1834, el inglés PERKINS patentó una máquina frigorífica de principio moderno: vapores de éter se condensan en un serpentín rodeado de agua; el éter líquido pasa a un recipiente donde se vaporiza, mientras que una bomba aspira los vapores y los lleva de nuevo al serpentín de condensación.

En 1845, el americano GORRIE inventó un aparato en que el enfriamiento se debe a la expansión brusca del ai-

---

(1) "El frío artificial", Loverdo (París, 1903).

re comprimido. En 1855, el alemán WINDHAUSEN construyó otra máquina de aire, que fué muy empleada en la producción de hielo artificial para usos domésticos e industriales.

En 1857 y 1859, F. CARRÉ (1) inventó sus dos conocidas máquinas de absorción: una de éter y otra de amoníaco.

En 1863, Tellier, que había dado a conocer varios proyectos de máquinas frigoríficas entre las cuales figuraba una de vapor de agua, construyó una máquina de absorción similar a la de CARRÉ, en que reemplazaba el éter ordinario por el éter metílico, preferible bajo varios conceptos.

Las máquinas de compresión de PICTET (1875) con ácido sulfuroso, de LINDE (2) con amoníaco (1875) o con ácido carbónico (1882) reemplazaron las de absorción y Tellier construyó otra máquina de compresión.

Estos inventos del "padre del frío" no tuvieron la importancia de las aplicaciones industriales del frío artificial, que supo imaginar y de las cuales la principal es, sin duda, su procedimiento de la conservación de las carnes por el aire frío. Leamos lo que dice al propósito una publicacón del tiempo:

> " Mientras la carne escasea en Inglaterra, en Fran
> " cia y en la mayor parte de Europa, abunda en la Amé-
> " rica Central. Allí, un buey o una oveja no tiene sino
> " el valor de su cuero o de su lana; su carne se tira. Es
> " evidente que si se pudiera traer esa carne en estado
> " fresco a Europa se podría remediar nuestra falta de
> " ganado... Los ensayos han sido múltiples hasta la
> " fecha, pero han sido todos infructuosos... El seño
> " Tellier se alaba de poder transportar la carne fresca
> " durante toda la duración de un viaje entre los dos
> " mundos, gracias a su máquina refrigerante en la cual

---

(1) FERNANDO F. E. CARRE (Moislains 1824-1894), ingeniero francés, se especializó en el estudio de las máquinas eléctricas y frigoríficas.

(2) CARLOS LINDE (Berndorf 1852-¿?), ingeniero alemán, estudió en el Politecnicum de Zurich y enseñó en la Escuela Técnica de Munich.

" el gas amoníaco o el éter metílico, sucesivamente vo-
" latilizado y condensado, produce un descenso de tem
" peratura que basta para fabricar hielo... El señor
" Tellier, con la ayuda del señor Gelot, ha construído
" una cámara de aire frío... Se llenará con un carga-
" mento de carne, bueyes u ovejas de Buenos Aires o
" de la Plata, y el estado de las carnes será constatado
" a la llegada del barco en un puerto francés. Pero
" no cantemos victoria antes de que el experimento ha-
" ya fallado a favor de este ingenioso sistema..." (1)

Este artículo es de 1869 y fué sólo en 1876 que Tellier pudo interesar a la Academia de Ciencias en sus proyectos, formar una sociedad y armar un barco, "Le Frigorifique", que llegó a Buenos Aires el 25 de diciembre de 1876. ¡Era verdaderamente una feliz navidad para la América del Sur!

La sociedad formada por Tellier hizo grandes negocios; muchas sociedades se formaron y enriquecieron no sólo a sus accionistas sino a pueblos enteros, menos al pobre Tellier, el "padre del frío", que sabía que su invento creaba riquezas en la lejana América, mientras él moría de miseria.

RAOULT
(1830-1901)

La crioscopía. La ley de Raoult.
La tonometría, sus leyes.

FRANCISCO MARIA RAOULT, nació en Fournes (Norte de Francia) en 1830 y murió en Grenoble en 1901.

Este gran químico hizo sus estudios en Laón y en París, y debutó en la enseñanza en el Liceo de Reims. En 1863, para conquistar el título de Doctor en Ciencias, pre-

(1) "L'année scientifique de 1869", pág. 547.

sentó una tesis sobre "La Fuerza Electromotriz de los Elementos Voltaicos" que llamó la atención del mundo científico y que le valió la cátedra de física de la Universidad de Grenoble, cargo que ocupó hasta el fin de su vida.

Los trabajos de Raoult le valieron muchos títulos honoríficos. La Academia de Ciencias le otorgó un premio de diez mil francos (1889) y lo nombró miembro corresponsal (1890); el Gobierno Francés lo condecoró con la Legión de Honor (1890); fué asociado por la Sociedad Real de Londres (1898) y por la Academia de San Petersburgo.

De sus numerosos trabajos de química, de física y de fisicaquímica, resaltan especialmente sus estudios de crioscopía y de tonometría.

Desde 1788, BLAGDEN (1), determinando el punto de solidificación del agua, estableció la ley que lleva su nombre: "El descenso del punto de congelación de una disolución es proporcional a su concentración", pero observó él mismo, excepciones a esa ley. Los trabajos de BLAGDEN pasaron inadvertidos hasta 1862, cuando RUDBERG volvió a descubrir la ley fundamental y explicó la causa de las aparentes excepciones para la formación de hidratos entre el agua y el cuerpo disuelto. En 1871 y 1872, DE COPPET confirmó los resultados de BLAGDEN y de RUDBERG y agregó que, para sales químicamente parecidas, el descenso del punto de solidificación es el mismo si se disuelven, no pesos iguales, sino cantidades proporcionales a su peso molecular.

Pero el verdadero fundador de la crioscopía fué Raoult quien, de 1878 a 1884, "descubrió propiedades ignoradas. leyes nuevas y fecundas, hoy universalmente conocidas, pero cuya revelación provocó en el mundo sabio verdadera sorpresa y admiración". (2)

---

(1) CARLOS BLAGDEN (1748-1820), médico militar inglés, miembro de la Sociedad de Londres, se especializó en el estudio del calor y especialmente de la sobrefusión (1788). Fué uno de los primeros en asegurar que todos los cuerpos tienen tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

(2) Discurso de LORD KELVIN al remitir a RAOULT la medalla de DAVY, en nombre de la Sociedad Real de Londres.

La ley de Raoult se expresa: "El descenso del punto de congelación de una solución es, para una concentración dada, inversamente proporcional a la masa molecular del cuerpo disuelto". De esta ley se deduce el método de determinación del peso molecular, en el que se puede usar el crioscopio de Raoult (1).

De la misma manera, Raoult estudió y fundó las leyes de la tonometría: "El descenso relativo de la presión máxima del vapor de un disolvente por la presencia de un cuerpo disuelto varía con la concentración de la solución, y es inversamente proporcional a la masa molecular del disuelto".

En ese estudio los nombres de BABO (2), WULLNER (3), TAMMANN y VAN'T HOFF (4) figuran al lado del nombre de Raoult.

---

(1) CHWOLSON, t. VIII, pág. 250.

(2) CLEMENTE E. L. BARON DE BABO (Ladenburg, Baden, 1818-Karlsruhe 1899), químico alemán, profesor en la Universidad de Friburgo, hijo del conocido agrónomo LAMBERTO BARON DE BABO (1790-1862)

(3) ADOLFO WULLNER (Dusseldorf 1835-Aquisgrán 1908), fué profesor de física en Marburgo, Aquisgrán, Poppelsdorf y Bonn. Estudió ampliamente, después de BABO (1847), la tensión de los vapores de soluciones salinas (1858) y de mezclas gaseosas (1866). En 1868, se ocupó del calor específico de los líquidos, y, en 1869, estableció su teoría del espectro que fué criticada por E. WIEDEMANN.

(4) JACOBO VAN'T HOFF (Rotterdam 1852-Steglitz, cerca de Berlín, 1911), el "Berthelot holandés", es otro químico cuyo nombre no puede pasar inadvertido en la historia de la física. Hijo de un médico de Rotterdam, estudió en su ciudad natal y luego en Leyden y en Delft, y se perfeccionó en Alemania, en Bonn, y en París, en el laboratorio de WURTZ. Se doctoró en Utrecht (1874) y fué nombrado profesor en la escuela veterinaria de esa ciudad, que dejó para ir a la Universidad de Amsterdam (1878). En 1895, fué llamado a Berlín como miembro de la Academia de Ciencias, con un elevado sueldo y sin otra obligación que la de proseguir sus estudios en Alemania. Era, además, miembro de la Academia de Ciencias de París y, en 1901, recibió el Premio Nobel.

Van't Hoff aplicó la termodinámica al estudio de las transformaciones de los cuerpos; estudió la teoría atómica, la estereoquímica, los pesos moleculares y las propiedades físicas de los cuerpos.

En física, el nombre de Van't Hoff se recuerda a menudo por su estudio de la presión osmótica y su relación con la tensión de los gases, (CHWOLSON, t. II, pág. 256; GANOT, pág. 290; POINCARE, "Física Moderna", pág. 135 y sigtes. y véase la biografía de ARRHENIUS).

Fué en 1886, que estableció su teorema: "Las materias disueltas ejercen en la solución, bajo forma osmótica, la misma presión que ejercerían en el estado gaseoso, bajo la misma temperatura y el mismo volumen" que permitió aplicar a las soluciones las leyes de los gases, pero Van't Hoff

En 1864, Raoult hizo interesantes estudios de electricidad y especialmente de polarización de las pilas, perfeccionando la pila de DANIELL.

MAXWELL
(1831-1879)

La teoría electromagnética de la luz. Electricidad. Roce interior. Electrometría. Carga resídua.

JAIME CLERK MAXWELL nació en Edinburgo en 1831 y murió en Cambridge en 1879.

Era el último descendiente de una vieja y respetada familia escocesa. Cursó sus estudios primarios y secundarios en la Academia de Edimburgo (1840-1847) y sus estudios superiores en la Universidad de la misma ciudad (1847 1850) y en la de Cambridge, donde pasó cuatro años (1850-1854).

A los veinticinco años, fué nombrado profesor de "filosófia natural" en el Colegio de Aberdeen (1856), pero dejó este puesto, en 1860, para ocupar las cátedras de física y de astronomía en el King's College de Londres, en el que permaneció hasta 1868.

En aquella época Maxwell estaba en el máximum de su poder científico, y, durante tres años, abandonó las aulas para dedicarse por completo al estudio en el tranquilo retiro de una casa de campo de su propiedad. En 1871, volvió a la enseñanza como profesor del curso de física expe-

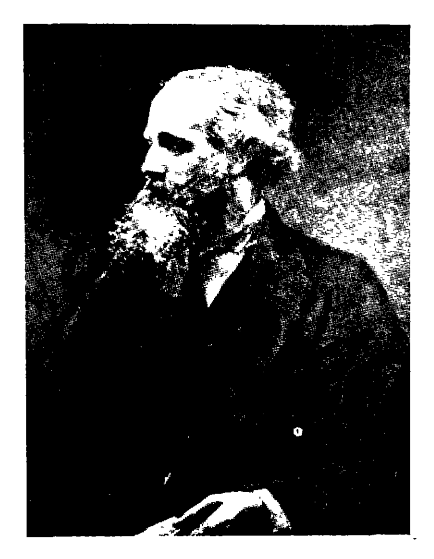
---

descubrió también que debe hacerse excepción con los electrólitos que no se someten a dichas leyes como las demás soluciones diluídas.

En 1889, Van't Hoff estableció la ecuación que completa la obra de RAOULT, y por la cual establece que una molécula de un cuerpo disuelto en cien gramos de disolvente provoca un descenso del punto de congelación: $\gamma = \frac{R}{100} \times \frac{Tg^2}{Sg}$ en que R es la constante de los gases, Tg la temperatura de congelación del disolvente y Sg el calor de fusión. (HOPPE, obr. cit., pág. 254).

rimental que acababa de fundarse en la Universidad de Cambridge y conservó ese cargo durante ocho años o sea hasta su muerte, prematura por cierto pues sólo tenía cuarenta y ocho años de edad.

Maxwell ya se destacó como estudiante. Estaba en el colegio cuando, a los quince años, presentó su primera memoria a la Sociedad Real de Edimburgo "Sobre un Método Mecánico para trazar los Ovalos Cartesianos". Tres años más tarde (1849), presentó dos memorias más a la misma sociedad "Sobre el Equilibrio de los Sólidos Elásticos", y otra, en 1854, "Sobre Transformaciones de las Superficies al doblarlas".



MAXWELL

En 1856, año en que empezó su profesorado en Aberdeen, presentó una memoria "Sobre las Líneas de Fuerza de Faraday", en que demostraba matemáticamente la exactitud del concepto de FARADAY al representarse esos "hilos", que muchos teóricos despreciaban por considerarlos como un concepto demasiado material o demasiado simplista. En este trabajo, Maxwell recogió la analogía plan-

teada por THOMSON entre los fenómenos eléctricos y elásticos y estableció allí las primeras bases de sus conceptos acerca de la electricidad.

Pero la electricidad no era todavía su única preocupación, y, en 1859, fueron premiadas sus "Investigaciones acerca de la Elasticidad de los Anillos de Saturno", mientras publicaba también varias memorias acerca de los colores y su percepción, de la constitución de la materia, de la teoría cinética de los gases, etc. (véase CLAUSIUS).

En 1867 en fin, presentó su primera memoria acerca de una teoría original del electromagnetismo, teoría que desarrolló por completo, en 1873, en su inmortal "Electricidad y Magnetismo", obra que hizo conocer en el mundo entero sus conceptos originales.

En 1879, pocos meses antes de su muerte, Maxwell publicó los trabajos inéditos de CAVENDISH sobre electricidad, y esta publicación de gran valor histórico, a la cual nos hemos referido varias veces en esta obra, hizo conocer muchos méritos no sospechados de aquel sabio de valer.

La obra magna de Maxwell, la obra que su nombre evoca de inmediato, es la teoría electromagnética de la luz.

Nada más difícil que sintetizar en forma clara esta teoría que, como lo destacaremos más adelante, el mismo Maxwell no expuso con la precisión de las teorías comunes de física experimental. Como generalidades acerca de dicha teoría puede sin embargo afirmarse lo siguiente: La teoría de Maxwell es algo así como la traducción matemática de las ideas de FARADAY (especialmente de su oposición al concepto de la acción eléctrica a distancia y de su noción de la influencia del dieléctrico en los fenómenos eléctricos) y de las ampliaciones que, con maravillosa intuición, Maxwell agregó a esos conceptos de FARADAY. Pero debe notarse que la teoría (o las ecuaciones) de Maxwell, que le permitía explicar satisfactoriamente los fenómenos eléctricos, no hubiera llamado extraordinariamente la atención, ya que muchos otras teorías hacían otro tanto, si Maxwell no hubiese hecho de ella una teoría electrodinámica del campo electromagnético, y de allí una teoría electromagnética

de la luz. Esta aplicación de la teoría de Maxwell a la luz considerada como un fenómeno electromagnético fué también la realización del ideal filosófico de FARADAY de la demostración de la completa unidad de todas las fuerzas naturales y tenía, también en la obra de FARADAY, el magnífico antecedente de la rotación magnética del plano de polarización de la luz. En fin, la posibilidad, que surge de esta teoría electromagnética de la luz, de producir artificialmente y por medios electromagnéticos las ondas luminosas, es la iniciación de la obra de HERTZ y de sus consecuencias prácticas: la radiotelegrafía y la radiotelefonía.

Recordemos que cuando COULOMB (1788) determinó las leyes de las acciones eléctricas, estas leyes hacían lógicamente asimilar dichas acciones a los fenómenos generales de atracción universal y la teoría del potencial de POISSON y de GAUSS es una derivación de dicho concepto.

La teoría de NEUMANN (1845) deriva a su vez de ese mismo concepto y, en su estudio matemático de la inducción, es una ampliación de los estudios de AMPERE sobre acciones de corrientes y de la ley de LENZ.

De 1846 a 1871, WEBER fué elaborando su teoría de la electrodinámica en que comprendió las leyes de la inducción y las acciones mutuas de cargas eléctricas tanto en reposo como en movimiento.

Pero todas estas teorías no destruían el pernicioso concepto de la acción a distancia implícitamente admitida por todos, pero contra el cual FARADAY ya había levantado serias objecciones y tendía a demostrar, con ese fin, la acción de partícula a partícula en los electrólitos y la absorción, también progresiva, de parte de la carga eléctrica por los dieléctricos. FARADAY, después de haber descubierto la rotación magnética del plano de polarización de la luz, proyectaba comparar la velocidad de propagación de la acción magnética con la velocidad de propagación de la luz. Interesó en esas ideas a Maxwell con quien estuvo en relación cuando éste era profesor en el King's College de Londres; y éste sabio, con genial intuición, asoció dichos

conceptos con los trabajos de WEBER y KOHLRAUSCH sobre medidas eléctricas y y sobre la relación (c) entre las unidades electrostáticas y electromagnéticas, y con una observación de KIRCHHOFF sobre la relación entre (c) y la velocidad de la luz; también recordó la analogía establecida por W. THOMSON entre los fenómenos eléctricos y los fenómenos elásticos, y los estudios de GAUSS, de RIEMANN y de LORENTZ que señalamos más adelante. Reuniendo todos esos antecedentes, Maxwell desarrolló cálculos matemáticos y llegó a ecuaciones que expresan matemáticamente que, tanto en el vacío como en un dieléctrico (pues Maxwell asimila el éter a un dieléctrico material, haciendo sólo una diferencia cuantitativa), toda variación del campo eléctrico engendra un campo magnético y viceversa. Esas ecuaciones demuestran también que la relación entre las unidades electrostáticas y las unidades electromagnéticas es igual a la velocidad de la luz, que es la velocidad de los campos eléctrico y magnético, campos perpendiculares entre sí y que forman un triedro rectangular con la dirección de la onda electromagnética (o sea con el rayo en el caso de la luz).

Pero veamos algunas características de esta teoría que acabamos de sintetizar en forma imperfecta.

Desprovista de la acción a distancia (admitida en la mecánica celeste newtoniana), que reemplaza por la acción progresiva con velocidad finita, desprovista del concepto de un nuevo "flúido imponderable", basada únicamente en el éter al cual atribuye deformaciones ya conocidas en la materia, la teoría de Maxwell reemplaza ventajosamente las teorías anteriores no sólo por esas razones, sino porque explicó fenómenos nuevos e hizo descubrir relaciones desconocidas.

Como dijimos, FARADAY se había interesado en la influencia de los dieléctricos, ya como simples aisladores, ya como ambiente de los cuerpos electrizados; había observado con atención las líneas de fuerza producidas por un imán en uno de esos ambientes, y había descubierto la rotación del plano de polarización de la luz por el campo

magnético. Su sueño filosófico en fin era la demostración de la completa unidad de todas las fuerzas naturales.

Es allí pues que Maxwell encontró su norma de conducta. Estableció que todas las operaciones de "electrización" tienen por efecto producir deformaciones elásticas en el éter, cuyas líneas de tensión coinciden con las líneas de fuerza, o sea con la dirección de la fuerza eléctrica. Estas líneas de tensión y tubos de tensión no son aquí conceptos geométricos sino físicos, reales, pues corresponden a deformaciones del éter.

Las atracciones y repulsiones eléctricas se explican fácilmente por medio de los tubos de tensión que unen dos conductores de nombres contrarios y que, por su tensión longitudinal, tienden a acercarlos, mientras que tienden a alejar los cuerpos de electricidades contrarias por su presión transversal. Un aumento de carga correspondería ya a un número mayor de tubos de tensión ya a una tensión longitudinal mayor en esos tubos.

Aquí pues, es el medio, el éter, que está puesto en tensión por los cuerpos electrizados, y todos los cálculos giran alrededor de esta acción mecánica.

Los tubos de tensión unen los cuerpos conductores y descansan en ellos sus extremos, sin penetrarlos, resbalando en su superficie, y el campo eléctrico no ejerce por consiguiente influencia sobre el éter interior. En los dieléctricos pasa lo contrario: los tubos de tensión los atraviesan y se mueven en ellos.

Dice ENRIQUE POINCARE (1), al referirse a estas explicaciones de Maxwell: "El capítulo en que explica las atracciones electrostáticas por presiones y tensiones que reinarían en el ambiente dieléctrico podría ser suprimido sin

---

(1) ENRIQUE POINCARE (Nancy 1854-París 1914), fué tal vez el más grande matemático de nuestra época. Estudió en la Escuela Politécnica, era ingeniero de minas, doctor en matemáticas, miembro de la Academia de Ciencias (1887) y profesor de física matemática en la Sorbona.

Poincaré ha sido en física, el comentador, corrector y amplificador de todas las teorías matemáticas generales y de todos los grandes problemas como las teorías de MAXWELL y de LORENTZ en electricidad o en termodinámica. En la reciente y universal discusión de la teoría de EINS-

que el resto de la obra se volviese menos claro ni menos completo, y contiene además una teoría que se basta a sí misma y que podría entenderse sin haber leído una sola línea de lo que precede o sigue" (1). Podemos, por consiguiente estudiar ahora separadamente la teoría electrodinámica de Maxwell con su teoría electromagnética de la luz.

E. POINCARE dice al respecto: "Cuando abre la obra de Maxwell, un francés espera encontrar en ella un conjunto teórico tan lógico, tan preciso como la óptica física basada sobre la hipótesis del éter. Se prepara así a una decepción que quisiera evitar al lector, avisándole enseguida de lo que debe buscar en Maxwell y de lo que en él no podría encontrar... Maxwell no da una explicación mecánica de la electricidad y del magnetismo; se limita a demostrar que esta explicación es posible... Demuestra que los fenómenos ópticos no son sino un caso particular de los fenómenos electromagnéticos. De cualquiera teoría de la electricidad se podrá deducir una teoría óptica. La recíproca no es desgraciadamente exacta..."

Aun limitándose a estas esperanzas, el lector encontrará otras dificultades, pues:

"El sabio inglés no se limita a construir un edificio único, definitivo y bien ordenado; parece más bien elevar un gran número de construcciones provisorias e independientes, entre las cuales las comunicaciones son difíciles y a veces imposibles".

POINCARE nos habla entonces de la idea fundamental de Maxwell, de esa idea "que está tan oculta que en las obras de vulgarización es el único punto completamente olvidado".

Con consideraciones matemáticas cuyo comentario no cabe en esta obra (2), POINCARE muestra que Maxwell

---

TEIN se echó de menos, más que nunca, la falta de la erudición y del genio de Poincaré.

Ha sido también vulgarizador y filósofo: sus obras, como "La Ciencia y la hipótesis" y "El valor de la Ciencia", son conocidas por los estudiosos del mundo entero.

(1) "La Science et l'hypothèse", pag. 247.

(2) "La Science et l'hypothèse", pag. 251-260.

tuvo como idea fundamental demostrar que una explicación mecánica de la electricidad es posible ya que se tienen todos los elementos matemáticos necesarios. Más aún, pueden establecerse una infinidad de explicaciones confirmadas todas por la experiencia; pero Maxwell no se decide a favor de ninguna para evitarse la molestia de complicadas hipótesis. Lo más interesante de la obra de Maxwell es que en ella "lo que debe quedar común a todas las teorías está explicado; todo lo que sólo se aplicaría a una teoría determinada se pasa bajo silencio".

LUCIANO POINCARE (1) repite más o menos los mismos conceptos:

"La obra de Maxwell es frondosa, compleja, difícil de leer, frecuentemente mal entendida aun en nuestros días. Maxwell se preocupó más bien de ver si se pueden explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos, fundándose en las propiedades mecánicas de un medio único, antes que de precisar dicha explicación; sabía muy bien que si se llegara a construir tal interpretación sería fácil edificar varias otras que fuesen, desde el punto de vista de sus consecuencias, verificables por la experiencia, completamente equivalentes a la primera; por esto se preocupaba principalmente en echar los cimientos de un punto de vista general, poner en evidencia lo que podría ser lazo común de todas las teorías".

CHWOLSON, que también expresa que "no es fácil explicar en qué consiste la teoría de Maxwell", hace distinguir en ella: 1º las nociones fundamentales y las ideas hipotéticas, 2º el desarrollo de sus consecuencias y 3º un sistema de ecuaciones, como conclusión (2).

---

(1) LUCIANO POINCARE (Bar le Duc 1862-París 1920), primo hermano de ENRIQUE y hermano del ex Presidente de la República, Raimundo Poincaré, fué un físico de gran valer. Estudió en la Escuela Normal, enseñó en Bourges, luego se doctoró en Ciencias (1890) y enseñó en Marsella, Paris, Sevres y Chambéry, siendo en esta última ciudad rector de la Academia.

Más tarde fué nombrado Inspector de Instrucción Pública. Luciano Poincaré se ocupó especialmente de electricidad, pero más que por sus trabajos originales, se ha hecho conocer por su labor de vulgarización realizada en muchas revistas, como la "Revue Générale des Sciences" o en obras como su "Física Moderna".

(2) CHWOLSON, t. XII, pág. 117.

Vemos pues que resulta difícil, sino imposible, dar una síntesis razonable de la teoría de Maxwell.

Ante todo se ve que Maxwell va derecho a un fin determinado: dar una explicación mecánica de la electricidad. Demuestra entonces que esto es posible, pues, considerando la energía electrostática de un cuerpo como energía potencial y la energía electrodinámica como energía cinética, se pueden establecer ecuaciones que respeten los principios inmutables: el de la menor acción y el de la conservación de la energía, que depende del primero. Para formar estas ecuaciones, o mejor dicho funciones, deberán elegirse las variables; pero esto ya significaría determinar una teoría, y Maxwell se rehusa a hacerlo por considerarlo demasiado difícil; y nadie lo ha hecho después de él.

Dándose una explicación mecánica de la electricidad y rechazando toda acción a distancia, debe atribuirse una influencia especial al medio o sea al dieléctrico. Debe considerarse que lo constituye una substancia especial formada por "células" de pared sólida, perfectamente elástica e incompresible y conteniendo un flúido perfecto con movimientos torbellinarios. Este flúido (¿el éter?) opondrá una cierta elasticidad a la electricidad y el "coeficiente de elasticidad eléctrica" del dieléctrico, llamado así por analogía con los coeficientes de la teoría de la elasticidad (W. Thomson), es expresado por Maxwell por la fórmula:

$$\frac{F}{D} = \frac{4\pi}{K}$$

o sea:

$$D = \frac{FK}{4\pi}$$

en que F es la intensidad del campo, D el desplazamiento, $\frac{F}{D}$ el coeficiente de elasticidad y K el poder inductor específico.

La "intensidad del campo" (F) proviene a su vez de la fórmula:

$$f = e. F$$

en que e es la carga de un cuerpo y f la fuerza que obra sobre él con dirección determinada.

El "desplazamiento" (D) es el movimiento de la corriente en el dieléctrico. Maxwell mismo dice: "Sea lo que sea la electricidad y lo que se debe entender por movimientos de la electricidad, el fenómeno que llamamos desplazamiento eléctrico es un movimiento de la electricidad, dando a esta expresión el mismo sentido que cuando se dice que el trasporte de una cierta cantidad de electricidad en un hilo es un movimiento de electricidad. La única diferencia es que, en un dieléctrico, la fuerza que hemos llamado "elasticidad eléctrica" se opone al desplazamiento y lleva la electricidad hacia atrás cuando la fuerza electromotriz se suprime; mientras que en un hilo conductor la elasticidad eléctrica es constantemente vencida".

Esta expresión de desplazamiento, no elegida además con mucho acierto, es lo que FARADAY llamaba la "absorción eléctrica" o sea el fenómeno de carga o de descarga del campo neutral en que se colocan los conductores; y si se modifica la posición de los conductores, este régimen se modifica y varía la carga de las diversas partes del campo produciéndose las "corrientes de desplazamiento" de Maxwell.

Así que, para Maxwell, la carga de un conductor es, en verdad, la carga superficial del dieléctrico ambiente.

A este concepto deben agregarse los relativos a las propiedades de la corriente eléctrica en los conductores, propiedades que atribuye a una variación de la polarización dieléctrica, variación que produce un campo magnético.

En la misma fórmula, K es la "capacidad inductora específica" de FARADAY, o sea la "constante del dieléctrico" de W. THOMSON. Es la relación entre la capacidad de un condensador que contiene este dieléctrico y el mismo condensador con aire, o mejor aún, con el vacío. Esta constante del dieléctrico, distinta para cada substancia, debería sus variaciones a la mayor o menor elasticidad o densidad del medio hipotético de Maxwell en estos cuerpos; como al mismo fenómeno, relacionado con el éter, puede

atribuirse el índice de refracción, es natural buscar una analogía, y Maxwell estableció que:

$$K = n^2$$

o sea que la constante del dieléctrico es igual al cuadrado del índice de refracción, relación que fué comprobada en la parafina. Esta relación entre la constante dieléctrica y el índice de refracción fué uno de los puntos de la teoría de Maxwell que levantaron mayor resistencia.

Entre las ideas fundamentales de Maxwell se destaca especialmente su afirmación de que el éter sufre una deformación alrededor de los conductores cargados y que, por consiguiente, si la carga es oscilante las deformaciones sucesivas del éter elástico provocan en él ondulaciones. Si estas ondulaciones, o "corrientes de desplazamiento", son una realidad física, los fenómenos de inducción, las ondas electromagnéticas, no pueden ser instantáneas, deben tener una velocidad determinada en el éter. Esto fué comprobado por HERTZ, quien estableció que la velocidad de la inducción es la misma que la velocidad de la corriente o la velocidad de la luz.

Otras analogías surgieron de las consecuencias de la teoría de Maxwell: Este sabio estableció que la velocidad de propagación de las perturbaciones electro-magnéticas debe ser igual a la relación existente entre las unidades absolutas electrostática y electromagnética y, nueva coincidencia, el resultado obtenido es igual a la velocidad de la luz. Los experimentos de WEBER, de KELVIN, de Maxwell, de H. ABRAHAM y de KAUFMANN confirmaron este resultado (1).

Otra analogía entre la óptica y los fenómenos electromagnéticos se encontraba en la observación de FARADAY de la influencia del magnetismo sobre el plano de polarización.

---

(1) Véanse los métodos de esta determinación en CHWOLSON, t. XII, pág. 158.

El sueño de FARADAY se realizaba: Las fuerzas naturales se unían; el calor radiante y la luz de un lado y la electricidad y el magnetismo del otro, se comprendían, y el medio hipotético de Maxwell no debía ser otro que el éter luminoso. La electricidad se volvía como la luz una vibración del éter y la luz era comprendida dentro de los fenómenos electromagnéticos.

La hermosa teoría óptica de FRESNEL no sufrió con este concepto nuevo, pues Maxwell no entró en el detalle del mecanismo de su vasto concepto.

"En nuestra época", afirmó OSTWALD (1), "la teoría de las ondulaciones ha sido enterrada sin ruido, para dejar lugar a la teoría electromagnética...", y CORNU le contestó, en un artículo en que dió tal vez demasiada libertad a su irónica vehemencia:

"Felizmente para HERTZ, para Maxwell, que tuvo el primero la idea de esta hermosa síntesis electro-óptica, felizmente para FRESNEL y para el honor de nuestro siglo, nada de esto es exacto. La teoría ondulatoria moderna está bien viva, pues reside completamente en estos dos hechos: propagación por ondas de las perturbaciones luminosas o eléctricas, transversalidad del vector que representa en los menores detalles tanto los fenómenos tan delicados de la óptica como los de la inducción en el espacio..."

Existe además una verdadera analogía entre la teoría de Maxwell y la teoría de FRESNEL, pues nos llevó a considerar los "rayos hertzianos" como oscilaciones transversales del éter que pueden ser comparadas a un rayo luminoso polarizado cuyo plano de vibración coincide con la dirección del campo eléctrico y cuyo plano de polarización coincide con el campo magnético.

Los célebres experimentos de HERTZ, que dieron una prueba palpable de la exactitud de los conceptos teóricos de Maxwell con su demostración de la existencia de las "ondas hertzianas" y que tuvieron por resultado el aprove-

---

(1) "La derrota del atomismo" por OSTWALD (Revue Générale des Sciences, 1895, pág. 953 y 1069) y "Algunas palabras de respuesta" por CORNU (Rev. Gén. des Sciences, 1895, pág. 1030).

chamiento práctico de la teoría de Maxwell con el invento de la telegrafía sin hilos, fueron realizados en 1888 o sea nueve años después de la muerte del ilustre sabio inglés.

Hemos dicho que en la teoría de Maxwell no se debe buscar una teoría definida ni una representación mecánica aunque inconcientemente hemos tratado de hacerlo, deteniéndonos en los dos primeros puntos de la división de CHWOLSON o sea en las ideas fundamentales e hipótesis y sus consecuencias; nos resta hablar del tercer punto o sea de las ecuaciones de Maxwell. Son estas seis ecuaciones las que, cualquiera sea la teoría adoptada, siempre serán la expresión de la verdad; son como el principio fundamental o el esqueleto de toda teoría eléctrica, o, mejor aún, la conclusión infalible de toda teoría confirmada por la experiencia.

Pero, debe recalcarse bien, como lo hace DUHEM, que no puede seguirse siempre con claridad la relación entre las "nociones" de Maxwell y esas ecuaciones cuyo "origen real" es a menudo débil y fácilmente criticable.

En Alemania, se suele llamarlas "ecuaciones de Maxwell-Hertz" porque fué este último sabio quien las destacó de la vasta obra de Maxwell, afirmando que se bastan a sí mismas, que no necesitan ninguna hipótesis preliminar, que explican todos los fenómenos y que son por consiguiente, la teoría misma.

En efecto HERTZ en sus "Investigaciones acerca de la Propagación de la Fuerza Eléctrica" (1832) afirmó: "A esta pregunta: ¿Qué es la teoría de Maxwell?, yo no podría dar contestación a la vez más clara y más corta que esta: La teoría de Maxwell es el sistema de ecuaciones de Maxwell".

Un sistema de ecuaciones, sin posible traducción al lenguaje ni posible representación mecánica, que es toda una teoría; he aquí indiscutiblemente un concepto de inaudita abstracción que despierta mucha admiración y un poco de espanto. No nos extrañará pues que un sabio alemán se haya preguntado: — "¿Será un Dios el que ha hecho descender del cielo estas seis ecuaciones?".

Entre otras consecuencias de la teoría de Maxwell, hemos visto que vino a suprimir la causa principal de

desacuerdo entre las teorías de AMPERE y de HELMHOLTZ, destruyendo la hipótesis de la corriente abierta. En efecto, cualquier desplazamiento de electricidad provoca una serie de desplazamientos ya en el cuerpo considerado, ya en el ambiente dieléctrico que lo hacen considerar como una corriente cerrada.

También hemos visto que, a consecuencia de su teoría, Maxwell afirmó la existencia de la presión de radiación ya prevista por EULER, e inauguró los estudios modernos de esta cuestión en la cual se destacaron especialmente BARTOLI (1893), LEBEDEFF (1899), POYNTING (1904) y FAYE.

Además de FARADAY, precursor directo o más bien inspirador de Maxwell, hemos citado a KELVIN (1840), por haber tenido y después abandonado la idea de comparar la propagación de las acciones eléctricas y magnéticas a la elasticidad en los cuerpos sólidos; a WEBER, por haber introducido el factor velocidad de propagación en las fórmulas de AMPERE; a GAUSS, que buscaba determinar la velocidad de las fuerzas eléctricas; a KIRCHHOFF y a RIEMANN (1), que emitieron la idea de

---

(1) JORGE RIEMANN (Hanover 1826-Selasca, Lago Mayor, 1866), el célebre reformador de la geometría, fué, desde 1859, profesor de la Universidad de Gotinga, donde había estudiado. Su estudio de la teoría matemática del magnetismo, hace incluir su nombre entre los de los físicos y especialmente con los nombres de WEBER, GAUSS, CLAUSIUS y MAXWELL, con cuyas obras, la suya propia está íntimamente relacionada. Debe recordarse especialmente su cálculo ligeramente distinto del de WEBER del potencial eléctrico y su hipótesis de la velocidad infinita de la propagación de las acciones eléctricas en el espacio. Pero su nombre ocupa un lugar importante en la historia de las matemáticas. REY PASTOR ("Introducción a las Matemáticas Superiores", pág. 37) resume así la obra de Riemann:

"Riemann inicia un nuevo período; mejor dicho, una revolución; "y ésta la efectúa con una sola memoria, como todas las suyas, de "muy pocas páginas (Memoria póstuma, presentada en 1855, pero no "impresa hasta 1867). Es conocido entre nosotros por haber fundado "la geometría esférica, completando así la geometría no euclidiana "con la tercera solución que cabía dar al problema del paralelismo... "Pero éste, con ser tan grande, no es el mérito mayor de aquel pro-"fundo genio. Su contribución capital reside más bien en las dos "ideas fundamentales que aporta a la geometría: la idea de multi-"plicidad y la idea de curvatura de los espacios..."

Riemann, fundador de una geometría nueva como la de LOBATCHEVSKY (1796-1856), murió a los cuarenta años de edad.

igualdad entre esta velocidad y la de la luz; y a LORENTZ, que trataba de extender la teoría de FRESNEL a los fenómenos eléctricos.

En fin, entre los que comentaron la obra de Maxwell de un modo original, deben recordarse especialmente a ENRIQUE POINCARE, a DUHEM (1) y a POTIER (2), pero el desarrollo mismo de la teoría lo encontramos en toda la evolución de la electricidad a fines del siglo XIX y principio del siglo XX y particularmente en las obras de HELMHOLTZ, de HERTZ, de ROENTGEN, de LORENTZ y de EINSTEIN.

Sería difícil también recordar aquí todos los puntos de electricidad sobre los cuales, con su nuevo concepto, con su

---

(1) PEDRO DUHEM (París 1861-Burdeos 1916) fué uno de los grandes teóricos del siglo XX. Fué discípulo de la Escuela Normal Superior, a la que ingresó en 1882. En 1887, fué maestro de conferencias en Lila; fué profesor en Rennes y en la Universidad de Burdeos, en 1895. En 1900, fué nombrado miembro corresponsal de la Academia de Ciencias.

Duhem se ocupó especialmente de física matemática y unió esta ciencia a la química y a la mecánica en teorías amplias y profundas. Se ocupó de historia de ciencias y ya hemos hecho referencia en esta obra a varios de sus artículos y volúmenes, en los cuales ha tratado con extraordinaria erudición y maestría cuestiones de historia de la Física y especialmente la Edad Media, LEONARDO DE VINCI y los precursores de GALILEO.

Desde 1884, o sea a los veintitrés años, publicó memorias sobre termodinámica, y en 1886 hizo un importante estudio crítico de la teoría eléctrica de POISSON. En su vasta crítica de la mecánica, Duhem se mostró enemigo de la física mecánica: "La búsqueda de una explicación mecánica del Universo ha sido hasta la fecha el más peligroso escollo de la física teórica". Sus estudios de termodinámica le hicieron seguir a RANKINE, a GIBBS y a HELMHOLTZ como partidario de la "energética". ("El Potencial Termodinámico", 1886).

Tanto en su "Teoría Física" como en sus "Lecciones de Electricidad y Magnetismo" o en "Las teorías eléctricas de Maxwell", Duhem ha hecho un profundo estudio de la obra de MAXWELL. Su crítica es severa; destacó en ella las contradicciones y le opuso la teoría de HELMHOLTZ, que consideraba superior. Al hacer esto sabía que nadie lo acompañaría, pero confiaba en que algún día lejano "se reconocería que la obra electrodinámica de HELMHOLTZ era una obra grande y que hemos hecho bien en atenernos a ella".

Duhem era profundamente religioso y defendió ardientemente sus convicciones. (Léase "La vida y obra de Pedro Duhem", por Emilio Picard, Revue Scientifique, 1922, pág. 482).

(2) ALFREDO POTIER (1840-1905), ingeniero de minas, ex-alumno de la Escuela Politécnica, criticó y defendió a la vez la teoría de MAXWELL. Potier era miembro de la Academia de Ciencias.

nueva "imagen", Maxwell ha tenido intervención directa o indirecta. En su obra "Electricidad y Magnetismo", publicada en 1873, encontramos así una teoría de electrometría que significa un progreso en ese estudio; y debe ser destacada la afirmación de que la carga residual sólo puede existir en un dieléctrico heterogéneo o sea en el cual la relación entre la constante dieléctrica y el poder conductor no sea la misma en todas sus partes. En este punto, Maxwell hizo dar un nuevo paso al estudio de la carga residual en el cual hemos seguido la intervención de R. KOHLRAUSCH (1854), BEZOLD (1865) y CLAUSIUS (1870).

Debería señalarse aún la teoría de la elasticidad de Maxwell que tenía en cuenta la influencia de la temperatura como lo hicieron F. KOHLRAUSCH (1876), su estudio del roce interior de los gases después de O. E. MAYER, su teoría de los colores en que buscó la representación matemática de los colores de distintas longitudes de onda en función de los tres colores fundamentales continuando así un estudio que hemos señalado con ARISTOTELES, con R. BACON y VINCI (siglo XIII), TEODORICO (siglo XIV), MOROLICO (siglo XVI), KEPLERO, DOMINIS, DESCARTES, MARCI, GRIMALDI, BOYLE, NEWTON (siglo XVII), EULER, LAMBERT (siglo XVIII), WOLLASTON (1802), YOUNG (1807) y BREWSTER (1834).

HUGHES
(1831-1900)

Telégrafo de HUGHES. El micrófono. Aislamiento de cables submarinos. Balanza de inducción.

DAVID F. HUGHES, el célebre inventor del telégrafo impresor y sobre todo del micrófono, nació en Londres en 1831 y murió en la misma ciudad en 1900.

A los siete años, Hughes emigró a Virginia y recibió allí una educación musical antes de estudiar ciencias. Muy joven aún, acumuló las posiciones de profesor de música y profesor de física en Bardstown, Kentucky. A los veinticuatro años (1855), siendo profesor de física en la Universidad de Nueva York y colega de MORSE, Hughes inventó su conocido telégrafo impresor.

Este aparato consiste en principio en una rueda trasmisora con letras del alfabeto, que, por un movimiento de relojería o por el descenso de una pesa, comunica con absoluto sincronismo su movimiento giratorio a una rueda idéntica en el aparato receptor. Por medio de un electroimán, una cinta de papel se aprieta contra el borde de la rueda en el preciso momento en que pasa la letra que se comunica.

Este aparato, tan sencillo en principio, era sumamente complicado en su mecanismo, pero ofrecía la ventaja de ser tres veces más rápido que el aparato de MORSE, pues, mientras éste sólo permitía comunicar unas 500 palabras por hora, el telégrafo impresor de Hughes comunicaba fácilmente de 1500 a 1600 palabras.

El aparato de Hughes no tuvo aceptación en los Estados Unidos, pues las compañías telegráficas se concertaron para no reemplazar sus recientes instalaciones de MORSE; pero Hughes fué a París, simplificó y perfeccionó su telégrafo en los talleres de FROMENT y su invento se impuso en toda Europa, aun en Inglaterra a pesar del resentimiento de esa nación con Hughes, que la había abandonado y había tomado la ciudadanía norteamericana.

En 1878, el feliz inventor aportó al teléfono un perfeccionamiento mucho mayor que el que había aportado al telégrafo: inventó el micrófono.

Este aparato, demasiado conocido para ser descrito aquí, produjo una enorme sensación y asombró al mundo más aún que el fonógrafo y el telégrafo mismo.

Entre otros inventos de Hughes deben recordarse aún, un dispositivo para el aislamiento de los cables submarinos y sobre todo la "balanza de inducción" para estudiar la in-

fluencia de la naturaleza del metal sobre los fenómenos de inducción.

Hughes fué uno de los grandes inventores del siglo pasado, por su método científico, por su originalidad y por la gran habilidad que le permitía construir delicados aparatos sin necesidad de instrumentos de precisión sino "con agujas y alfileres, pedacitos de alambre, lacre, vasos, limaduras de cobre, cajitas de píldoras, etc..." (1). El éxito coronó sus esfuerzos; sus inventos le produjeron una fortuna enorme que Hughes utilizó generosamente, protegiendo numerosas instituciones científicas y caritativas.

Hughes era miembro de la Sociedad Real de Londres y presidente de la "Institución de los Ingenieros Eléctricos".

CAILLETET
(1832-1913)

Verificación de la ley de Boyle-Mariotte. Compresibilidad de los líquidos. Liquefacción de los gases.

LUIS PABLO CAILLETET nació en 1832 en Chatillon-sobre-Sena y murió en París en 1913.

A su egreso de la Escuela de Minas, en 1854, fué nombrado director de las fundiciones de Saint-Marc (Costa de Oro), donde se dedicó de inmediato a investigaciones científicas. Sus primeros estudios interesaron naturalmente la metalurgía y entre ellos figuran sus experimentos sobre la difusión del hidrógeno en el hierro (2), que eran la continuación de experimentos de SAINTE-CLAIRE DEVILLE (3), maestro de Cailletet.

---

(1) EMILIO GAUTIER, "L'année Scientifique", 1900.

(2) "L'Année Scientifique" de 1869, pág. 157.

(3) ENRIQUE SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Antillas 1818-París 1881), químico e industrial francés, fué maestro de conferencias en la Escuela Normal y reemplazó a DUMAS en la Sorbona. En física, se recuerdan algunos de sus estudios teóricos y prácticos sobre el calor. Sainte-Claire perteneció a la Academia de Ciencias desde 1861.

En 1870, empezó a ocuparse de física propiamente dicha, y la verificación de la ley de Boyle-Mariotte en las altas presiones fué su primer trabajo importante en esta ciencia. Realizó sus experimentos en 1870, y en 1877 y 79. Comprimía el aire en un tubo cuyo interior había sido dorado de modo que el mercurio que provocaba la compresión del aire, se amalgamaba con el oro y permitía así comprobar con exactitud la altura a la cual había llegado. En sus últimos experimentos, Cailletet colocaba el voluminoso aparato (uno solo de los tubos tenía 250 metros) en un pozo artesiano. Llegó a comprimir los gases a unas 240 atmósferas y estableció que, para el nitrógeno, por ejemplo, el valor máximo del producto de la presión por el volumen se alcanzaba a una presión de 75 atmósferas (1).

En 1872, realizó experimentos sobre la compresibilidad de los líquidos a muy altas presiones y llegó a la conclusión de que la presión influía muy poco sobre el estado líquido (2).

En el curso de sus investigaciones sobre la compresibilidad de los gases, un accidente causó la brusca expansión de un volumen de gas acetileno a alta presión e hizo notar a Cailletet el gran enfriamiento provocado por la expansión. Aprovechando esta observación casual, Cailletet imaginó su conocido aparato de compresión y de enfriamiento (3) y lo aplicó al enfriamiento de los gases hasta entonces llamados "permanentes" como el oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno, el metano y el bióxido de nitrógeno y el óxido de carbono. En 1877, Cailletet obtuvo la liquefacción de todos estos gases con excepción del hidrógeno que sólo llegó a un principio de liquefacción, presentando el aspecto de una nube. Cailletet hizo pues hacer un gran progreso al estudio de la liquefacción de los gases que debía ya tanto adelanto a FARADAY (1823), a NATTERER (1854) y a ANDREWS (1867).

(1) GANOT, pág. 148; CHWOLSON, t. II, pág. 40.
(2) CHWOLSON, t. II, pág. 175.
(3) GANOT, pág. 265; CHWOLSON, t. VII, pág. 289.

En la misma época y en completa ignorancia de los trabajos de Cailletet, PICTET (1), realizaba experimentos similares con un dispositivo distinto pues, en lugar de la expansión, usaba descensos sucesivos de temperatura (método de las cascadas). Más tarde, se destacaron los trabajos de los polacos WROBLEWSKI y OLSZEWSKI (1883), del inglés DEWAR que licuó el hidrógeno y del holandés KAMERLINGH (2) quien licuó el helio en el Laboratorio Criógeno de Leyden, el mejor equipado del mundo.

Además de estos trabajos que merecieron a Cailletet una justa celebridad, deben recordarse, en colaboración con MATHIAS (3), un método de determinación de la densidad de los vapores saturados (4) y de sus variaciones con la temperatura (5) y un estudio de la dilatabilidad de los líquidos cerca de su punto crítico (6).

En colaboración con COLARDEAU, estudió las magnitudes críticas de los líquidos (7) (1891), las presiones máximas del vapor de agua (8) y la resistencia del aire en la caída de los cuerpos (9).

Por esos importantes trabajos, Cailletet entró en la Academia de Ciencias (1884) y fué nombrado profesor de la Escuela Normal.

---

(1) RAUL PICTET (Ginebra 1842-?), fué profesor en la Universidad de Ginebra y enseñó también en Berlín. Además de sus experimentos sobre la producción del frío y de licuefacción de los gases, debe citarse su importante obra "Síntesis del Calor".

(2) KAMMERLINGH ONNES (1853-1926), físico holandés, profesor de la Universidad de Leiden.

(3) EMILIO MATHIAS (n. 1861), físico francés, profesor en la Universidad de Tolosa, estudió particularmente los vapores saturados y el magnetismo terrestre. Se recuerda especialmente su tesis de 1890 sobre "el calor de vaporización de los gases licuados" (véase CHWOLSON, t. VIII, pág. 127). Se le debe también la "ley del diámetro rectilíneo" sobre el punto crítico, la densidad del líquido y la densidad del vapor saturado, que fué confirmada por muchos sabios y, entre ellos, por el mismo Mathias y por KAMMERLINGH ONNES en 1910 (CHWOLSON, t. VIII, pág. 64)

(4) CHWOLSON, t. VIII, pág. 59.

(5) GANOT, pág. 277.

(6) GANOT, pág. 218.

(7) CHWOLSON, t. VIII, pág. 137.

(8) GANOT, pág. 250.

(9) GANOT, pág. 61.

CROOKES
(1832-1919)

Radiómetro. Rayos catódicos. Espintariscopio.

GUILLERMO CROOKES nació en Londres en 1832 y murió en la misma ciudad en 1919.

Fué estudiante del Colegio Real de Química, ayudante de HOFMANN, super-intendente del observatorio de Radcliff, en Oxford, y profesor de ciencias en Chester.

En 1861, Crookes, que se ocupaba esencialmente de química, descubrió el talio por medio del análisis espectral y esto le valió su ingreso en la Sociedad Real de Londres.

En 1875, al estudiar las propiedades del talio y al intentar medir la presión de sus radiaciones, inventó el conocido "radiómetro de Crookes" (1), cuya explicación tanto preocupó a los sabios, que creyeron encontrar en este aparato la demostración de la presión de la luz admitida por MAXWELL, como acabamos de verlo. ZOLLNER aprovechó el invento de Crookes para construir así el primer fotómetro en el cual no interviniera para nada el sentido de la vista en la apreciación de la intensidad de la luz; pero el procedimiento no resultó ser tan exacto como lo creyera su inventor.

Desde 1878, Crookes se ocupó de las descargas eléctricas en los gases rarefactos. Este estudio no era nuevo, y los principales experimentadores que investigaron los efectos de descargas en el aire rarefacto fueron HAWKSBEE, NOLLET, ABBRIA (2) (1842), QUET, GROVE, MASSON y GASSIOT (3) (1853), GEISSLER (1855) y PLUCKER (1858).

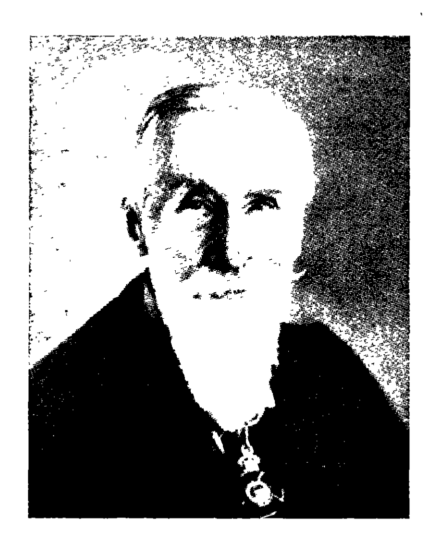
---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 242-244.

(2) BENEDICTO ABBRIA, físico italiano (1811-1892).

(3) JUAN PEDRO GASSIOT (Londres 1797-¿?), negociante y físico inglés, se ocupó preferentemente de electricidad. Perteneció a la Sociedad Real de Londres desde 1840. Además de los tubos que inventó simultáneamente con GEISSLER, debe recordarse su dispositivo para el estudio de la endósmosis, en el que empleaba vasos de tierra porosa en lugar de membranas animales. (Véase BECQUEREL).

Al disminuir la presión, las chispas se cambian en un haz de líneas finas. Al centésimo de atmósfera se observa el fulgor positivo, violado, que sale del ánodo y se detiene a poca distancia del cátodo, en el cual también se observa una débil luminosidad rosada; entre el fulgor positivo y el fulgor negativo hay una región obscura, llamada "espacio obscuro de FARADAY" por haber sido observado por este sabio en 1838. Continuando la rarefacción, los fulgores se acortan; el fulgor negativo se separa del cátodo, dejando ver el "espacio obscuro de HITTORF o de Crookes", que



CROOKES

fué observado por estos dos sabios. Al milésimo de atmósfera, el fulgor se estratifica, como ya lo habían observado QUET, ABBRIA, GROVE y GASSIOT (1865). Aumentando más aún la rarefacción, el espacio obscuro catódico se extiende, y, entre el cien milésimo y el millonésimo de atmósfera, la obscuridad se hace, mientras otros fenómenos demuestran que radiaciones invisibles emanan del cátodo. Estos son los rayos catódicos, que fueron observados

por primera vez por HITTORF (1) en 1869 y que fueron ampliamente estudiados por Crookes desde 1878.

Ya en 1853, MASSON descargaba un carrete de su invento (carrete de RUHMKORFF) en el vacío de TORRICELLI, y hacía construir tubos con este vacío por el constructor GASSIOT. Con los tubos construídos por GEISSLER desde 1855, y muy perfeccionados más tarde (1885) gracias al invento de la bomba de mercurio, PLUCKER había realizado interesantes observaciones desde 1858, sometiendo la luz así obtenida al espectroscopio. Al notar que partículas del electrodo negativo son proyectadas y se depositan en el vidrio del tubo, atribuyó el fenómeno luminoso a la incandescencia de las partículas, y, recordando las experiencias de DAVY sobre la influencia del imán sobre el arco voltaico, sometió la luz del tubo a la acción del imán y notó que se podía modificar así la posición del lugar del vidrio que la irradiación vuelve fosforescente.

En 1869, HITTORF que trabajaba ya con tubos con vacío de menos de 1 mm. de mercurio obtuvo una sombra al colocar un objeto opaco entre el cátodo en forma de punto y el lugar del vidrio donde se forma la fosforescencia, deduciendo de allí la propagación en línea recta de las radiaciones, y obtuvo el "espacio obscuro de Hittorf".

VARLEY, en 1871, repitió las experiencias y afirmó que las irradiaciones están constituídas por partículas materiales con carga negativa influídas por el imán.

---

(1) JUAN GUILLERMO HITTORF (Bonn 1824-1914) fué profesor libre en Munster y después catedrático de física y de química (1852) en la Universidad de la misma ciudad.

Hemos citado su estudio del selenio (véase CASELLI) En 1865, estableció, con PLUCKER, que substancias iguales pueden dar espectros distintos. En 1869, descubrió los rayos catódicos e hizo un profundo estudio de la fosforescencia en los gases. Desde 1853 hasta su muerte, se ocupó preferentemente del estudio de la electrólisis. Descubrió su conocida ley "Las velocidades relativas del anión y del catión son respectivamente iguales al cociente de la pérdida catódica o de la pérdida anódica por la pérdida total del electrólito", admitiendo para ello que los iones tienen velocidades distintas y que de esas diferencias de velocidad durante la electrólisis derivan diferencias de concentración en las distintas partes del electrólito. Estos trabajos de Hittorf fueron continuados por FR. KOHLRAUSCH. (Véase).

GOLDSTEIN, en 1876, produjo la sombra que ya había producido HITTORF, pero demostró que no era necesario que el cátodo tuviera forma de punto, pues aquí las irradiaciones no se propagan en todos sentidos, sino perpendicularmente a la superficie emisora. GOLDSTEIN utilizó las expresiones de "rayos catódicos" y "luz catódica".

Crookes reunió todos estos antecedentes y observó las principales propiedades de los rayos catódicos, en tubos de rarefacción de 0'000046 mm. de mercurio. Observó así su propagación en línea recta, sus fenómenos de fosforescencia y de fluorescencia, su producción de calor, sus efectos mecánicos sobre el radiómetro de su invento, su desviación por el imán, sus efectos químicos, etc.

Con los rayos catódicos, la ciencia se encontraba ante un problema completamente nuevo que no parecía tener solución satisfactoria en la física clásica. Crookes buscó una explicación basada en la complicada teoría cinética de los gases; consideró que los rayos catódicos son producidos por el bombardeo, desde el cátodo, de las moléculas residuales del gas, y dió a este fenómeno el nombre de "materia radiante", considerándolo como un cuarto estado de la materia. La explicación de Crookes recibió muchos ataques y entre ellos los de HITTORF así como los de W. GINTL (1) y de PULUJ (2), que proponían el término de "materia electrodo-radiante" porque consideraban que los fenómenos descritos por Crookes no se deben a las moléculas residuales del gas sino que son producidos por una violenta repulsión de partículas materiales desprendidas del cátodo. Esta hipótesis se fundaba en el hecho de que la porción de vidrio del tubo en que se proyectan los rayos catódicos, queda cubierta por una delgada capa metálica que lo convierte en espejo. Crookes cono-

---

(1) JULIO GUILLERMO GINTL (Praga 1804-1883), físico checo, estudió en Praga y en Viena y enseñó en Gratz. Fué director de los telégrafos del Estado. Su hijo, GUILLERMO F. GINTL (1843-1908), fué un célebre químico.

(2) JUAN PULUJ (Hrymalow, Galitzia, 1845-¿?), físico, electrotécnico y teólogo checo, profesor en la Universidad de Viena. Inventó varios aparatos.

cía perfectamente este fenómeno, que atribuía a la "volatilización" del metal, pero refutaba la hipótesis de GINTL y PULUJ con experimentos que tendían a demostrar que la naturaleza del metal del cátodo no influye sobre la fosforescencia causada por los rayos catódicos y que, por consiguiente, esta volatilización no es más que un fenómeno secundario y no la causa de los fenómenos observados.

RIGHI fué uno de los primeros defensores de las ideas de Crookes y llegó a hacerlas compartir por muchos sabios; pero esta cuestión evolucionó con tal rapidez que fué causa de una abundante producción de hipótesis cuyo estudio completo se hace difícil.

En 1882, GIESE, pensó en una teoría electrolítica de los gases que fué reconsiderada, después del éxito de la teoría de ARRHENIUS, por RIGHI y THOMSON y por SCHUSTER (1890); y Crookes admitía esta explicación electrolítica porque, al admitir la división de las moléculas del gas, no se oponía a su convicción del cuarto estado de la materia.

En 1892, HERTZ demostró que los rayos catódicos pueden atravesar finas láminas de aluminio y creyó destruir así la teoría de Crookes; pero ARONS (1) descubrió que los iones de un electrólito también las atraviesan.

Mientras RIECKE, VARLEY, Crookes, etc., creían en la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos, TAIT, WIEDEMAN y HERTZ creían en su naturaleza ondulatoria.

Después de las investigaciones de J. J. THOMSON, RIGHI, PERRIN (2) y otros, los sabios se vieron obliga-

---

(1) LEON ARONS (Berlín 1860) inventó el arco de mercurio.

(2) JUAN BAUTISTA PERRIN (n. Lila 1870), célebre físico y químico francés contemporáneo, es profesor en la Escuela Normal y en la Facultad de Ciencias. Entre sus más importantes obras destacamos: "Rayos catódicos y rayos X" (1897); "Curso de Química" (1903); "Electrización de contacto" (1905); "Movimiento browniano y peso absoluto de las moléculas" (1911); "Luz y quanta" (1912) y "Agitación molecular" (1912). En 1895, al demostrar la constitución electrónica de los rayos catódicos, volvió real y tangible ese electrón que STONEY sólo presentó como una unidad absoluta de electricidad (1891) (véase LORENTZ)

dos a admitir que los rayos catódicos se componen de partículas con carga negativa, pero se comprobó que, cualquiera sea la masa residual del gas del tubo, debido a su enorme velocidad, las partículas catódicas no pueden tener más de una duomilésima parte de la masa del átomo de hidrógeno. Abandonándose la idea de las partículas materiales, se imponía la hipótesis del electrón, átomo de electricidad.

Ya hemos tenido ocasión de hacer algunas referencias a la historia de los electrones con WEBER, con HELMHOLTZ y con KELVIN e insistiremos sobre ella en la biografía de LORENTZ. Sólo haremos notar aquí que los rayos catódicos no fueron la causa misma de la teoría de los electrones sino uno de los principales fenómenos que no encontraban explicación en la teoría de MAXWELL, como también lo fueron la radioactividad, el fenómeno de ZEEMANN y otros tantos.

Deben colocarse aquí también otros estudios de GOLDSTEIN sobre rayos catódicos. Acabamos de ver cómo este sabio había ampliado las observaciones de HITTORF y que fué él quien dió su nombre a los rayos catódicos. En 1886, GOLDSTEIN, prosiguiendo sus investigaciones, tuvo la idea de emplear un cátodo perforado y vió aparecer, detrás de este cátodo, rayos de una nueva especie que llamó "rayos canales" por salir como canalizados por las perforaciones del cátodo. Estos rayos tienen una dirección opuesta a los rayos catódicos y son desviables tanto por el campo eléctrico como por el campo magnético. WIEN, en 1897, hizo un serio estudio de los rayos canales y demostró que tienen carga positiva y que el cociente de su carga por su

---

y Perrin demostró esta existencia de carga negativa por medio del cilindro de FARADAY.

En 1910, Perrin, basado en el descubrimiento de BROWN (1827) del "movimiento browniano", contribuyó con GOUY (1889), EINSTEIN (1905) y SMOLUCHOWSKI (1906) al establecimiento de la teoría cinética de los líquidos, haciendo triunfar la teoría molecular a la que se oponían DUHEM y OSTWALD.

En 1918, estudió con el mismo fin de profundización de la teoría molecular, los líquidos en láminas muy finas (pompas de jabón), cuestión estudiada por PLATEAU (1843), REINOLD y RUCKER (1883), RAYLEIGH (1893) y más tarde por DEVAUX (1923).

masa es del mismo orden de magnitud que los cocientes correspondientes en la electrólisis. Los rayos canales se llaman más bien en la actualidad "rayos positivos" y la explicación electrónica de los rayos catódicos demuestra que son los átomos y las moléculas del gas rarefacto, desprovistos de uno o de varios electrones.

Para volver a Crookes, recordaremos su "espintaroscopio" (visión de chispas), pequeño y maravilloso aparato que permite observar la radioactividad del radio y hasta contar uno por uno los átomos materiales proyectados, gracias al efecto de luminiscencia que cada una de las partículas produce en su choque con una lámina de sulfuro de zinc, fenómeno descubierto simultáneamente por Crookes, ELSTER y GIESEL, en 1903.

Crookes no se ha limitado al estudio de las ciencias físicas; todas las ciencias y hasta el espiritismo lo preocuparon.

En mérito a sus trabajos originales, fué ennoblecido en 1897.

LANGLEY
(1834-1906)

El bolómetro. La región infraroja del espectro.

SAMUEL PIERPONT LANGLEY, físico y astrónomo norteamericano, nació en Roxbury (Boston) en 1834 y murió en 1906.

Después de realizar estudios de ingeniería en su patria, los amplió en la Universidad de Cambridge y volvió a los Estados Unidos para ocupar una cátedra en la Escuela Naval y la dirección del Observatorio de Allenghany, en Pensilvania.

En física, el nombre de Langley debe ser recordado por su estudio de la región infrarroja del espectro solar y por su perfeccionamiento del bolómetro, hacia 1880. Este

aparato, inventado por SVANBERG, en 1851, está basado en la propiedad de los metales de aumentar su resistencia eléctrica cuando aumenta la temperatura, hecho observado por DAVY y por LENZ (1835). Una espiral de cobre, en el aparato de SVANBERG, una cinta de platino ennegrecida, en el aparato de Langley, puestos en el recorrido de un puente de WHEATSTONE, provocan una desviación del galvanómetro cuando reciben la acción de radiaciones caloríficas y sirven así de verdadero termoscopio. Langley pudo apreciar de ese modo variaciones de temperatura de un millonésimo de grado (1) y determinó que la radiación solar es 5.300 veces mayor que la del hierro en fusión, que la superficie de la luna no pasa de los 0º c.; que una luciérnaga gasta cuatrocientas veces menos energía que un mechero de Bunsen que tuviera la misma luminosidad, que la retina absorbe cantidades infinitamente pequeñas de energía siendo menores las que corresponden a los rayos más refrangibles.

Estudió asimismo con el "bolómetro" (que él llamaba "balanza actínica" y SVANBERG "termómetro diferencial galvánico"), la repartición del calor en el espectro, prosiguiendo así las investigaciones realizadas en este sentido por W. HERSCHEL (1800), J. HERSCHEL (1840), FIZEAU (1847) y MOUTON (1879).

En su estudio de la dispersión de los rayos infrarrojos (1884) prosiguió también los trabajos de MOUTON (1879), y fué el precursor de las investigaciones tan perfectas de RUBENS (1892).

Langley colaboró eficazmente en el estudio general de las ondas electromagnéticas y luminosas (2).

HERTZ confirmó la teoría de MAXWELL, pero las ondas electromagnéticas más cortas que pudo obtener tenían 60 centímetros o sea casi un millón de veces longitud que onda de la luz amarilla del sodio. RIGHI, LEBE-

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 241; GANOT, pág. 208; WATSON, pág. 288.

(2) RUBENS, "Investigaciones sobre el espectro infrarrojo", en la Revue Générale des Sciences, 1900, pág. 7.

DEFF y LAMPA (1) trataron de acortar la longitud de onda de las oscilaciones electromagnéticas y llegaron a producirlas de seis o cuatro milímetros con energía muy pequeña. Langley trató también de acortar las longitudes de ondas luminosas y electromagnéticas, pero en lugar de procurar disminuir las longitudes de las oscilaciones electromagnéticas, buscó longitudes de ondas luminosas mayores en el espectro infrarrojo (2). Pudo obtener una determinación de longitud de onda de casi seis milésimos de milímetro, con un espectro producido por un prisma de sal gema, y obtuvo radiaciones cuya longitud de onda no pudo determinar con exactitud por su poca intensidad, pero que pueden ser evaluadas en quince milésimos de milímetro.

Los esfuerzos de Langley fueron continuados, especialmente por PASCHEN (3), por RUBENS (4) y NICHOLS (5) por un método que les permitió obtener longitudes de onda de más de trescientos milésimos de milímetro, y los experimentos de RUBENS sobre rayos infrarrojos sirvieron de base a los ulteriores trabajos de especialización.

En 1902 y 1903, Langley se dedicó a la aviación, resolviendo varios problemas teóricos, pero fracasó en sus proyectos prácticos.

---

(1) ANTONIO LAMPA (n. 1868), físico austríaco, se ocupó de electricidad y especialmente de los dieléctricos.

(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 130 y sigtes.

(3) FEDERICO PASCHEN (n. Schwerin 1865), físico alemán, estudió en Estrasburgo y en Berlín; enseñó en Munster, Hannover y Tubinga. Se ocupó con preferencia de espectroscopía y de descargas en el vacío y estudió el electrómetro capilar de LIPPMANN.

(4) ENRIQUE RUBENS (1865-1922), profesor de física en la Escuela Técnica de Charlottenburg, fué el gran explorador del infrarrojo.

MENDELEIEFF
(1834-1907)

Ley de la periodicidad de los elementos. Temperatura crítica de los líquidos. Ley de Boyle-Mariotte. Densidad de los gases. Aparatos. El éter considerado como un gas.

DEMETRIO MENDELEIEFF nació en Tobolsk (Siberia) en 1834 y murió en San Petersburgo en 1907.

Hizo sus estudios primarios y secundarios en Tobolsk; luego pasó al Instituto Pedagógico de San Petersburgo, establecimiento donde se preparaban los profesores de enseñanza secundaria, y se dedicó al profesorado. En 1856, recibió en la Universidad de San Petersburgo el título de "Maestro de Química"; pasó dos años en Heidelberg; trabajó en el laboratorio de WURTZ en París, y volvió a Rusia, donde, después de pasar por los gimnasios de Simferopol y de Odessa, fué nombrado profesor de Química en la Universidad de San Petersburgo (1866), cargo que conservó hasta su muerte.

Es indiscutiblemente en la historia de la Química que el nombre de Mendeleieff figura en su verdadero lugar, pues allí se recuerda su vasta obra de química general, de filosofía química y de química-física, y allí se atribuye verdadera importancia a su famosa ley de la periodicidad de los elementos (1869) con la que pudo profetizar el descubrimiento del galio (1875), del escandio y del germanio, y prever sus principales propiedades.

En física, su nombre no puede sin embargo pasar inadvertido.

En 1860, Mendeleieff estudió la temperatura crítica de los líquidos, descubierta, lo recordamos, por CAGNIARD DE LA TOUR (1822) y sacada del olvido por FARADAY (1848).

De 1874 a 1876, realizó investigaciones para la verificación de la ley de BOYLE-MARIOTTE por medio de un aparato de su invento (1).

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 37.

Estudió la densidad de los gases e hizo un estudio crítico de los métodos empleados por sus predecesores y especialmente del método de REGNAULT, al cual aportó ciertas correcciones.

Entre los inventos de Mendeleieff citaremos también un barómetro diferencial de petróleo, una bomba de mercurio del tipo de la GEISSLER (1), un picnómetro (2), y varios perfeccionamientos de la balanza de precisión (1895) con el método de pesada de carga constante (3).

En 1902, Mendeleieff creyó oportuno considerar el éter como un gas muy rarificado e introducirlo como tal en su tabla periódica de elementos. Quería llegar así a destruir el concepto del éter considerado como un estado especial de la materia y creía poder explicar de ese modo muchos de los fenómenos nuevos, tales como los de radioactividad (4).

MERCADIER
(1836-1911)

Aparatos de acústica. Telefonía. Radiofonía. Telégrafo múltiple.

EMILIO MERCADIER nació en Montauban en 1836 y murió en París en 1911.

A su salida de la Escuela Politécnica, en 1859, fué empleado como ingeniero de telégrafos de provincia y allí se especializó en el estudio de la acústica.

Durante la guerra de 1870, fué encargado de la organización de la telegrafía militar, donde trabajó con su futuro colaborador CORNU; y, durante el sitio de París, imaginó y organizó el servicio de mensajes por palomas viajeras.

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 72.
(2) CHWOLSON, t. II, pág. 161.
(3) CHWOLSON, t. I, págs. 333-337 y 343.
(4) Revue Générale des Sciences, 1904, pág. 719.

Después de la guerra, volvió a sus trabajos científicos. En 1875, estudió las vibraciones de las membranas, de los hilos y de los diapasones y aplicó allí el electrodiapasón de movimiento contínuo que inventó en 1873. Se le debe también un conmutador general de pila, interesantes experimentos de telegrafía óptica (1881) y sus estudios sobre teoría de la música, en colaboración con CORNU. (Véase CORNU).

Mercadier aportó además grandes progresos a la telefonía. Inventó un monoteléfono o resonador electromagnético y un biteléfono; pero más importante es su observación de que si se reemplaza la membrana de un receptor telefónico por limaduras de hierro colocadas en una caja de cartón se oye perfectamente, y de que también se oye si se emplea el electroimán sólo o hasta desprovisto de su núcleo de hierro dulce. Inútil decir que estas interesantes observaciones de Mercadier demuestran la inexactitud de la demasiado sencilla explicación corriente del funcionamiento del teléfono (1).

La radiofonía fué otro de sus estudios favoritos; inventó un termófono y perfeccionó los receptores de selenio (2).

En 1900, Mercadier presentó su telégrafo multiplex (3), resultado de estudios de varios años atrás. Su sistema es original: Doce manipuladores utilizan simultáneamente un mismo hilo y a cada manipulador corresponde un receptor. Es que cada manipulador envía una corriente ondulatoria por medio de un electrodiapasón de tonalidad distinta, y a cada uno de esos manipuladores corresponde un monoteléfono receptor que vibra únicamente para el tono del electrodiapasón respectivo. Se llega por este sistema a comunicar con un solo hilo, unos seiscientos telegramas en una hora.

Deben citarse como precursores de Mercadier en el invento de este sistema de telégrafo multiplex por corriente

---

(1) GANOT, pág. 863.

(2) Véase la historia de la radiotelefonía en la biografía de MARCONI.

(3) "Année Scientifique" de 1900 y de 1911.

ondulatoria: al abate LABORDE, quien en 1860, presentó a la Academia de Ciencias una memoria sobre estas corrientes; a PABLO LACOUR, de Copenhague, quien pensó en utilizarlas para un telégrafo multiplex; a ELISHA GRAY, quien construyó un telégrafo armónico y demostró, en 1877, que varias corrientes ondulatorias y una corriente ordinaria no se confunden en un mismo hilo.

El discípulo y colaborador de Mercadier, ENRIQUE MAGUNNA ha perfeccionado el multiplex de su maestro y ha logrado permitir el empleo simultáneo de los aparatos impresores de HUGHES y de BAUDOT (1).

MACH
(1838-1916)

La "Mecánica". Precursor de Einstein. Teoría de la música de HELMHOLTZ. Movimiento de los proyectiles. Aparatos.

ERNESTO MACH, físico austríaco, nació en Turas (Moravia) en 1838 y murió en 1916.

Estudió en Praga y en Viena y fué profesor de las universidades de Gratz (1864), de Praga (1867) y de Viena (1895).

Si el nombre de Mach es tan conocido en filosofía como en las ciencias físicas es justamente porque fué uno de los sabios que creyeron que sólo puede llegarse a la filosofía por el camino de la ciencia.

Escribió importantes trabajos de física y, entre ellos, un estudio de la teoría de la música de HELMHOLTZ. Colaboró eficazmente al estudio de varias cuestiones como el movimiento de los proyectiles y la resistencia que le ofre-

(1) BAUDOT (Magneux, Alto Marne 1845-¿?), ingeniero telegrafista, realizó el invento del telégrafo impresor que lleva su nombre en 1883, después de diez años de estudios. ("Année Scientifique", 1913, pág. 80).

cen los gases (1); imaginó un aparato de interferencias luminosas (2); pero Mach se destaca especialmente por su obra crítica, y es célebre la "Mecánica" (3) en que desarrolló maravillosamente la evolución de esta ciencia, con una crítica sabia de sus principales teorías.

Mach fué uno de los precursores de la teoría de la relatividad de EINSTEIN, pues fué el primero en tratar de "eliminar del sistema de la mecánica, el espacio como causa efectiva". Según él, "un punto material aislado no debe moverse, sin ser acelerado, con relación al espacio sino con relación al conjunto de las masas del Universo." (4)

Mach fué nombrado miembro de la Academia de Ciencias de Viena; se jubiló de sus cargos docentes en 1901 y fué hecho senador.

LECLANCHE
(1839-1882)

Pilas.

JORGE LECLANCHE, el inventor de la pila que recuerda su nombre, nació en París en 1839 y murió en la misma ciudad en 1882.

Ingeniero-químico egresado de la Escuela Central, se dedicó especialmente al perfeccionamiento de las pilas. En 1867, sacó patente por su pila de vaso poroso con carbón y bióxido de manganeso, sumergido, como el zinc, en sal amoniacal. En 1873, inventó la pila de aglomerado en que el carbón, sin vaso poroso, está rodeado de chapas cilíndricas aglomeradas formadas por carbón, bióxido de manganeso y laca comprimida a 250°.

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 143 y sigtes.
(2) CHWOLSON, t. IV, pág. 413.
(3) ERNESTO MACH, "La Mécanique", traduction française (Edition Hermann, 1904).
(4) EINSTEIN, "Cuatro conferencias sobre la Teoría de la Relatividad", 1915.

GIBBS (1)
(1839-1903)

La mecánica-química. Otros estudios: doble refracción, dispersión, polarización circular, etc.

JOSIAH WILLIARD GIBBS, sabio matemático norteamericano nació en New Haven (Connecticut) en 1839 y murió en la misma localidad en 1903.

Era hijo de un profesor de hebreo de la Universidad de Yale, donde hizo también su preparación y donde se destacó por su amor a los estudios clásicos. En 1858, recibió el título de Bachiller en Artes (Bachelor of Arts) de la misma universidad; luego cursó cinco años de especialización de matemáticas, y fué a Europa. Pasó un año en París (1866-7), un año en Berlín (1867-8) y un año en Heidelberg (1868-9) al lado de CLAUSIUS, que tanta influencia ejerció sobre él y para quien Gibbs profesó siempre respeto y admiración. Después de unos cuantos meses pasados en París, el sabio americano volvió a su patria y, dos años más tarde (1871), ocupó en la Universidad de Yale la cátedra de física-matemática que desempeñó hasta su muerte.

No nos incumbe ocuparnos aquí de la obra matemática de Gibbs sobre análisis vectorial, álgebra múltiple, cálculo de las órbitas planetarias, mecánica estática, etc. Sólo recordaremos, pues no podemos tampoco penetrarla, su obra de aplicación de la termodinámica a la química, que lo hace considerar como uno de los grandes sucesores de SADI CARNOT y de CLAUSIUS.

En la segunda mitad del siglo XIX, la termodinámica se presentaba bajo dos aspectos: el aspecto matemático con SADI CARNOT, CLAPEYRON, CLAUSIUS, etc. y el aspecto filosófico con MAYER, RANKINE, KELVIN, etc.

PESLIN y MOUTIER, en Francia, HORSTMANN (1842-1923), en Alemania, ya habían buscado el camino

(1) H. LE CHATELIER, "J. Willard Gibbs", Rev. Gén. des Sciences, 1903, pág. 644.

en que se podría introducir la termodinámica en la química, pero fué la obra profunda de Gibbs que realizó esta fusión y que creó la "mecánica-química".

El estudio de Gibbs, que provocó este enorme progreso de la termodinámica, está expuesto en su obra: "Del Equilibrio de los Sistemas Heterogéneos" cuya primera parte, publicada en 1876, trata de los fenómenos químicos, mientras que la segunda, publicada en 1878, interesa a los fenómenos capilares y eléctricos.

Pero la obra de Gibbs, que inaugura el tan floreciente estudio de la Química-Física, es la obra de un matemático. No habla en ella de la composición química de los cuerpos, ni emplea los términos familiares a los químicos; sólo usa símbolos matemáticos. De modo que los técnicos, los experimentadores, no la comprendieron, y, durante muchos años, hasta principios del siglo XX, la obra de Gibbs no ejerció influencia directa sobre la ciencia experimental y no penetró en el laboratorio.

Sin embargo, era práctica; y todo su método científico consistió precisamente en deducir de las hipótesis iniciales de la termodinámica, con una exactitud rigurosa, todas las consecuencias aplicables a la ciencia práctica. Esto es lo que hicieron ver sus comentadores, entre los cuales se destacan VAN DER WAALS, BAKKHUIS ROOZEBOOM, en Holanda, OSTWALD en Alemania y LECHATELIER, G. MOURET y DUHEM, en Francia.

Afortunadamente, Gibbs alcanzó a ver el triunfo de su obra, demasiado tiempo ignorada. Hubiera sido triste que este sabio no hubiese conocido esta gloria, pues no fueron muchas las satisfacciones que conquistó por el estudio. De salud precaria, llevaba una vida de absoluto retraimiento; naturalmente taciturno, no comunicaba a sus colegas el gran alcance de sus estudios; poco didáctico en fin, no era popular entre sus estudiantes, que seguían mal sus explicaciones y a quienes rehusaba además dar una exposición elemental de sus conceptos científicos.

En su obra de 1876, Gibbs estudió, entre tantas otras consecuencias de la aplicación del 2º principio de la termo-

dinámica, la difusión de dos gases y estableció que: "la entropía de una mezcla de gases es igual a la suma de las entropías de los gases que la forman". En un sistema cualquiera de cuerpos estableció que: en los cambios de estado, la entropía crece bajo volumen constante y energía constante; y que: la energía decrece bajo volumen constante y entropía constante. Introdujo en la mecánica química el fecundo concepto de las "fases" y estableció la regla o ley de las fases, la ley de equilibrio isoquímico de sistemas univariantes y las leyes de estabilidad de equilibrio, cuyo estudio no corresponde al plan de esta obra (1).

En física-matemática deben recordarse también varios importantes trabajos de Gibbs sobre la doble refracción, la dispersión, la polarización circular, las ecuaciones generales de la luz monocromática en los medios de transparencia cualquiera, una crítica del método de FOUCAULT para la determinación de la velocidad de la luz y una comparación entre la teoría eléctrica y la teoría elástica de la luz, basada en los trabajos de KELVIN.

F. KOHLRAUSCH
(1840-1910)

Teoría de la electricidad de WEBER. Teoría de la electrólisis. Conductibilidad eléctrica del agua.

FEDERICO KOHLRAUSCH, hijo de Rodolfo Kohlrausch, nació en Rinteln en 1840 y murió en Marburgo en 1910.

Se graduó en la Universidad de Gotinga en 1862 y fué profesor de física sucesivamente en Francfort, Gotinga, Zurich, Darmstadt, Wurzburgo, Estrasburgo y Berlín, donde

(1) Véase "Químico-Física" de POZZI-ESCOT. LE CHATELIER. Rev. Gén. des Sciences. 1903, pág. 647. HOPPE, Hist. de la Phys., pág. 303.

sucedió a HELMHOLTZ como director del Instituto de Física Técnica.

Sus principales estudios fueron relacionados, como los de su padre, RODOLFO KOHLRAUSCH (véase), con la electricidad y la elasticidad. Entre los primeros trabajos de F. Kohlrausch, de 1866 a 1870, se destacan su confirmación de la teoría atomística de la elasticidad, de WEBER, y sus investigaciones realizadas con LOOMIS sobre la disminución del coeficiente de torsión de los hilos y de su módulo de elasticidad cuando aumenta la temperatura (1).

Señalaremos aún, en 1877, su crítica de la célebre obra de CLAUSIUS (véase) sobre el principio de la conservación de la energía, el equivalente mecánico del calor y la entropía, crítica que permitió a CLAUSIUS hacer importantes enmiendas en su trabajo; y, en 1900, su estudio de la relación entre la conductibilidad calorífica y la conductibilidad eléctrica con métodos propios. Pero la obra más importante de F. Kohlrausch, obra a la cual ha dedicado gran parte de su vida, ha sido, en electro-química, la teoría de la electrólisis y el problema de la conductibilidad eléctrica del agua.

Ya en 1801, BIOT y, al año siguiente, ERMAN, observaron que cuanto más pura es el agua menor es su conductibilidad, observación importante ya que también descubrieron que cuanto mayor es la conductibilidad del líquido recorrido por la corriente mayor es la actividad química de ésta.

Si el agua completamente pura no es conductora de electricidad, la "electrólisis del agua" no es posible, pero estas observaciones pasaron inadvertidas, tanto como las afirmaciones de DANIELL (1839) según las cuales el agua no participa en la electrólisis y que el desprendimiento de hidrógeno y oxígeno se debe a acciones secundarias.

De 1875 a 1898, F. Kohlrausch realizó un sinnúmero de experiencias sobre la conductibilidad de los electrólitos y especialmente del agua, determinando para éste un coefi-

---

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 246.

ciente de conductibilidad mínimo, pero llegando también a la conclusión de que es imposible obtener agua absolutamente pura pues aún el vidrio se disuelve en el agua y la vuelve pues electrolítica (1).

Fué en 1876 que F. Kohlrausch emitió su teoría de la electrólisis que marca una fecha tan importante en la evolución de este capítulo de la física que CHWOLSON divide esa evolución en tres períodos: 1º Antes de F. Kohlrausch. 2º Teoría de F. Kohlrausch. 3º Teorías de CLAUSIUS, HELMHOLTZ y ARRHENIUS (2).

Acerca del primer período, recordamos que RITTER observó en 1789 la descomposición del agua por la corriente (fenómeno ya observado antes con descarga de electricidad estática) y que dió una teoría, que luego repudió, y que contenía muchos puntos de contacto con las teorías que GROTTHUS y DAVY establecieron, en 1805, casi simultáneamente. En 1812, BERZELIUS se opuso al concepto común de GROTTHUS y de DAVY que atribuye a cada elemento de la molécula del electrólito una electricidad de signo contrario a la electricidad del otro elemento. Este concepto de BERZELIUS fué ampliado por FECHNER (1838) y por R. KOHLRAUSCH (1856) (véase). En toda la primera mitad del siglo XIX, se admitieron teorías parecidas a la de GROTTHUS, en general, o a la de BERZELIUS. FARADAY mismo, a pesar de sus grandes descubrimientos, no modificó el criterio fundamental acerca del mecanismo de la electrólisis.

De 1853 a 1859, se inició la primera conmoción en esos conceptos, gracias a los trabajos de HITTORF (véase) y a las obras de WIEDEMANN (1856) y F. KOHLRAUSCH (1876) y de OSTWALD (1888), trabajos experimentales: es el segundo período señalado por CHWOLSON, casi simultáneo con el tercer período, el de las obras teóricas de: CLAUSIUS (1857), HELMHOLTZ (1880), OSTWALD (1888) y sobre todo ARRHENIUS (1888).

(1) CHWOLSON, t. X, pág. 218 y sigtes.
(2) CHWOLSON, t. X, pág. 218 y sigtes.

En ese segundo período, se estudió el equilibrio del electrólito durante la electrólisis y su transporte en el sentido de la corriente y se usaron para tales observaciones divisiones, como lo hemos visto (véase A. C. BECQUEREL) con REUSS, WOLLASTON, PORRET, BECQUEREL, DANIELL, WIEDEMANN y como lo veremos en HITTORF, quien hizo un estudio decisivo del "transporte de los iones" y estableció la ley de su velocidad.

F. Kohlrausch, en 1876, descubrió la "ley del transporte independiente de los iones" o sea que su velocidad les es propia y no depende del electrólito en que se encuentran; y agregó que "La conductibilidad de las sales neutras se compone de dos valores, uno dependiente únicamente del ión positivo (metal) y el segundo del radical negativo (ácido) (1).

Estableció así la relación entre los valores de movilidad del ión y la conductibilidad de las soluciones y, de allí, el cálculo de la fuerza necesaria para dar a los iones una velocidad determinada. Esta es la obra conjunta de HITTORF (véase) y F. Kohlrausch, que significa un sensacional progreso en electrólisis.

CORNU
(1841-1902)

Crítica de los métodos de FOUCAULT, de FIZEAU, de YOUNG y FORBES. Optica cristalina, interferencias, fenómeno ZEEMAN, etc. Acústica.

ALFREDO CORNU nació en Chateauneuf (Loiret) en 1841 y murió cerca de Romorantin, en el departamento de Loir y Cher, en 1902.

---

(1) CHWOLSON, t. X, pág. 239 y sigtes.; POZZI ESCOT, "Chimie-Physique".

Ingresó en la Escuela Politécnica en 1860, y seis años más tarde salía de la Escuela de Minas con el título de ingeniero, para volver al año siguiente a la Escuela Politécnica como profesor de física.

Sus principales trabajos, que son numerosos pues Cornú fué un sabio de asombrosa actividad, interesan la óptica, en la que fué, después de su maestro FIZEAU, el continuador de la obra de FRESNEL. Publicó además interesantes trabajos de acústica, de elasticidad, de electricidad, y estudios sobre la densidad de la Tierra (1870-78).

Cornú fué teórico y práctico a la vez, y sus profundos trabajos matemáticos y sus experimentos de gran delicadeza tienen una misma característica: la claridad. A esa cualidad bien francesa, que le hacía decir que "La ciencia no es la novedad, sino la claridad", Cornú agregaba una ilustración enorme, grandes dotes de conferencista y de periodista, mucha sencillez, pero también una ironía frecuentemente mordaz y una vehemencia a veces fuera de lugar. (Véase su discusión con OSTWALD en la biografía de MAXWELL).

Cornú se ocupó eficazmente de los métodos físicos de determinación de la velocidad de la luz. En 1871, hizo conocer sus primeros experimentos que realizó entre Monte-Valeriano y la Escuela Politécnica y que prosiguió durante más de cuatro años. Perfeccionó el método de su maestro FIZEAU, registrando eléctricamente el número de vueltas de la rueda y las apariciones y desapariciones de la luz. Su resultado fué de 300.330 kilómetros, con un error probable inferior a 1|1000. Pero el método de los espejos de FOUCAULT daba el resultado de 298.000 kilómetros. Cornú consideró entonces que el método de FOUCAULT no puede ser considerado tan exacto como el de FIZEAU porque la rotación del espejo modifica las condiciones de la reflexión, porque los rayos reflejados en el espejo fijo tienen, según los experimentos de NEWCOMB, una velocidad mayor a la velocidad de la luz normal, y porque el movimiento del aire por la rotación del espejo perturba

la propagación de la luz, como lo han demostrado FRESNEL y FIZEAU.

Esta crítica del método de FOUCAULT fué expresada por Cornú en el Congreso de Física de 1900; pero ya en 1886, el método había sido discutido por RAYLEIGH, GIBBS, GOUY y SCHUSTER. En 1901, LORENTZ se ocupó también de esta cuestión y estudió especialmente: la modificación de la propagación geométrica de la luz reflejada a causa del movimiento del espejo, la modificación de su longitud de onda según el principio de DOPPLER-FIZEAU, la influencia de la difracción y la influencia del movimiento del aire. LORENTZ llegó así a la conclusión de que todas esas causas de error no pueden, sin embargo, modificar de un modo apreciable la velocidad de la luz y que los métodos de FIZEAU y de FOUCAULT son tan exactos en su principio, uno como otro.

Cornú también criticó, en 1900, el método de YOUNG y FORBES (1) que era una modificación del método de FIZEAU y que había dado el resultado de 301.382 kilómetros PERROTIN (2), realizó en el Observatorio de Niza, y a indicaciones de Cornú, determinaciones que le dieron el resultado de 299.880 kilómetros.

Muchas otras partes de la óptica interesaron a Cornú, pero nos limitaremos a citar algunas de sus más importantes colaboraciones a esta parte de la física: Estudió la óptica cristalina y trató especialmente de completar la obra de FRESNEL sobre reflexión cristalina. Estudió la difracción e imaginó una sencilla construcción geométrica para evitar al estudiante la dificultad de las integrales de FRESNEL en ese estudio. Desarrolló la teoría de los retículos. Se ocupó de interferencias que estudió, como FIZEAU, por observación espectral, y estableció la teoría de la "franja acromática" como consecuencia de su crítica

---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 321.

(2) ENRIQUE PERROTIN, astrónomo francés; desde 1880, era director del Observatorio de Niza, donde CORNU pasaba regularmente quince días por año. Murió en 1904, pocos meses después de haber realizado la determinación que recordamos aquí.

de las observaciones de FRESNEL sobre las franjas del topacio, observaciones que ya habían atraído la atención de AIRY y de STOKES. Dió explicaciones teóricas del fenómeno de ZEEMAN; se ocupó activamente de espectroscopía ampliando estudios de FIZEAU; estudió las relaciones entre el campo magnético y los fenómenos luminosos; dejó en fin su fotómetro (1), su método fotométrico (2), su polarímetro (3) del que dedujo un sacarímetro (4) y aportó muchos perfeccionamientos a los aparatos astronómicos.

Al principio de su carrera, Cornú realizaba frecuentes viajes a Alemania y durante uno de ellos conoció a HELMHOLTZ, quien le habló de sus trabajos de acústica. Durante la guerra de 1870, tuvo a MERCADIER por compañero en el Servicio Telegráfico del ejército. A estas dos causas y a una gran afección por la música, puede atribuirse el origen de los estudios de acústica de Cornú, estudios que realizó en colaboración con MERCADIER (véase), y que interesan especialmente los intervalos musicales y las vibraciones de las cuerdas.

Se ocupó además de elasticidad, de cronometría y sincronización, y de la densidad media de la Tierra (véase BOUGUER).

Cornú era miembro de la Academia de Ciencias desde 1878 y presidente de la "Asociación Francesa para el Progreso de las Ciencias" y de la Sociedad de Física de Francia.

---

(1) GANOT, pág. 423.
(2) CHWOLSON, t. III, pág. 427.
(3) CHWOLSON, t. V, pág. 135.
(4) CHWOLSON, t. V, pág. 242.

VIOLLE
(1841-1923)

Equivalente mecánico del calor. Propagación del sonido. Actinometría.

JULIO VIOLLE nació en Langres (Alto Marne, Francia) en 1841 y murió en París en 1923.

Doctor en ciencias (1870), fué nombrado profesor en Grenoble y luego en la Facultad de Lyon, en la Escuela Normal de París y, en 1891 en fin, en el Conservatorio de Artes y Oficios.

La obra de Violle es esencialmente experimental. Hizo una determinación del equivalente mecánico del calor por el calor producido por un disco que gira en un campo magnético bajo la acción de un cuerpo en caída libre. Realizó importantes experimentos sobre la propagación del sonido por medio de tubos, como lo hiciera REGNAULT; concibió métodos y dispositivos actinométricos originales, que inspiraron a LANGLEY y que Violle utilizó en su estudio de las altas temperaturas, que es su obra principal.

GANOT recuerda su nombre en varios experimentos: la determinación de las altas temperaturas por el método calorimétrico de las mezclas (1), que le permitió calcular los puntos de fusión de varios metales y la temperatura del arco voltaico; su determinación de la velocidad del sonido en el aire, en colaboración con VAUTIER, por un método análogo al de REGNAULT; su actinómetro (2); sus trabajos de meteorología y su establecimiento de una unidad de intensidad luminosa que lleva su nombre y que corresponde a la intensidad de luz emitida normalmente por un centímetro cuadrado de platino a su temperatura de fusión.

---

(1) GANOT, pág. 208 y 233.
(2) GANOT, pág. 891.

BOLTZMANN
(1844-1908)

El segundo principio de la termodinámica. Trabajos acústicos. Teorías de la capilaridad. Comprobación de la ley de Dulong y Petit. Poder inductor de los dieléctricos. Teoría de la elacticidad. Presión de las radiaciones y ley de STEFAN. Cuerpo absolutamente negro.

LUIS BOLTZMANN nació en Viena en 1844 y se suicidó en Decino, en 1908. Fué profesor de física sucesivamente en Graz, Munich, Viena y Leipzig.

En 1900, su considerable obra, que interesa especialmente el magnetismo, los gases, la óptica y la termodinámica, le valió el título de miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de París.

Desde 1866, estudió con especial atención el segundo principio de la termodinámica y, aunque admitiera que la irreversibilidad de los fenómenos naturales expresada por el crecimiento continuo de la entropía demuestra la existencia de una tendencia determinada de la naturaleza, rechazaba la conclusión del fin del Universo (véase RANKINE). Decía en efecto: "Se confesará que no es satisfactorio confesar a priori, como absolutamente necesaria la extensión al universo entero de tal conclusión basada sobre la experiencia..."

Boltzmann buscó entonces "un expediente satisfactorio desde todo punto de vista" para no llegar a dicha conclusión, y llegó a suponer que si, en nuestro tiempo y en nuestro mundo, la naturaleza tiene la tendencia de pasar de los estados menos probables a los más probables, puede existir el fenómeno inverso en otros tiempos, en otros mundos (1). Boltzmann trató el segundo principio de la termodinámica y a la entropía por el cálculo de probabilidades y GIBBS amplió considerablemente este concepto. Es

(1) "La Dégradation de l'Energie", BRUNHES, pág. 340-344 y CHWOLSON, t. VII, pág. 99.

que Boltzmann consideraba que la energía calorífica es energía cinética de una agitación desordenada (movimientos desordenados de las moléculas) y que si es admisible que un movimiento molecular ordenado (caída de un cuerpo, paso de electrones de la corriente) se transforme en movimiento desordenado (calor), no puede admitirse el paso inverso. La degradación de la energía se vuelve así el paso del orden al desorden. Sólo si todo este desorden molecular de la energía calorífica se ordenara, podría ser invertida toda esa energía en trabajo, y es el cálculo de probabilidades el que permite establecer en qué proporción puede producirse esa transformación.

En 1870, Boltzmann, en colaboración con TOPLER, realizó fecundas investigaciones de acústica entre las cuales se destacan: su método óptico de observación de las vibraciones del aire por medio de las interferencias entre un haz de luz que atraviesa aire inmóvil y un haz de la misma fuente, que atraviesa aire vibrante; su determinación de los límites de percepción de los sonidos, que siguió de cerca la determinación hecha por CORNU y MERCADIER (1869). En ese mismo año de 1870. Boltzmann hizo un estudio analítico de las teorías de la capilaridad y demostró que sus ecuaciones pueden ser deducidas del principio de las velocidades virtuales.

En 1871, se interesó en la comprobación y el estudio analítico de la ley de DULONG Y PETIT.

En 1872, imaginó su primer método (1) para la determinación del poder inductor de los dieléctricos (K), determinación que había sido hecha por métodos imaginados por CAVENDISH (1773), FARADAY (1838), BELLI (2) (1838), HARRIS (3) (1842), MATTEUCCI

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 346.

(2) JOSE BELLI (Calasca, Piemonte, 1791-Pavía 1860), fué profesor de física en las Universidades de Padua y de Pavía. En electricidad, fué partidario de la teoría de VOLTA y la defendió con entusiasmo. Estudió la inducción en sus principios, contemporáneamente con FARADAY. Se ocupó también de calor e inventó varias e ingeniosas máquinas neumáticas, térmicas y eléctricas de influencia.

(3) GUILLERMO HARRIS (Plymouth 1791-1867), físico, inglés, se ocupó de electricidad y magnetismo.

(1849), G. SIEMENS (1857) y otros. Comprobó que $K = n^2$ (la constante dieléctrica es igual al cuadrado del índice de refracción) en los gases (véase MAXWELL).

Dos años más tarde, en 1874, Boltzmann imaginó un segundo método para la misma determinación de K (1), y en el curso de esos estudios determinó por primera vez el poder inductor de los gases y de algunos cristales. Demostró, por ejemplo, que en el azufre el poder inductor varía según la dirección de los ejes de cristalización, de la misma manera que los índices de refracción.

En ese mismo año, Boltzmann estableció una teoría no atomística de la elasticidad, mientras que la teoría de WEBER (véase) era atomística. Al año siguiente, hizo el estudio analítico de la conductibilidad térmica de los gases.

En 1884, se ocupó de la presión de las radiaciones, ya considerada posible por la teoría de MAXWELL. Si bien no llegó a la demostración de la existencia de dicha presión, demostró que la ley de STEFAN se deduce matemáticamente de la teoría electromagnética de la luz y del segundo principio de la termodinámica. Fué por esta ampliación del descubrimiento de STEFAN que se suele hablar de la "ley de STEFAN-BOLTZMANN". En relación con este estudio, Boltzmann, como CHRISTIANSEN, realizó el cuerpo absolutamente negro. (Véase KIRCHHOFF).

Agregaremos, en fin, que Boltzmann fué uno de los principales propagandistas de los conceptos de MAXWELL.

---

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 350.

LIPPMANN (1)
(1845-1921)

La electrocapilaridad. El electrómetro capilar. El motor electrocapilar. La fotografía de los colores. Otros inventos.

GABRIEL LIPPMANN, físico francés, nació en Hollerich, cerca de Luxemburgo, en 1845 y murió en París en 1921.

Sus padres eran franceses y volvieron a Francia, instalándose en París, cuando Gabriel contaba apenas tres años. Estudió en el Liceo Enrique IV y luego en la Escuela Normal, en la cual ingresó en 1868. Como estudiante se destacó por su inteligencia, aunque su falta de interés por ciertas asignaturas fué la causa de su reprobación en el examen de agregación. Este contratiempo estuvo a punto de causar su alejamiento a un colegio de provincia, cuando la feliz intervención de su profesor de física, Bertin, le permitió permanecer en París y dedicarse al estudio de la ciencia.

De 1872 a 1874, fué encargado de tres misiones en Alemania y pasó varios meses en los principales laboratorios de ese país, donde se hizo amigo de KIRCHHOFF y de HELMHOLTZ, y donde dió principio a sus estudios de electrocapilaridad.

De regreso a París, recibió el título de Doctor en Ciencias (1875) y fué nombrado maestro de conferencias en la Sorbona (1878) y luego profesor de física matemática (1883) y de física general (1886). En 1886, entró en la Academia de Ciencias donde ocupó el asiento de DESAINS.

En 1908, Lippmann fué premiado por la Academia de Ciencias de Suecia con el premio Nobel.

Durante la Gran Guerra, Lippmann se dedicó patrióticamente al estudio de la defensa de su patria invadida y se especializó en el importante problema de los submarinos.

---

(1) Véase el artículo de Lemoine y el discurso de D. Berthelot en la Revue Scientifique, 1921, pág. 434.

Murió a la edad de setenta y seis años, poco después de su regreso de los Estados Unidos donde había representado a Francia científica en una misión patriótica.

La obra de Lippmann es sumamente extensa, pues este sabio se destacaba por su asombrosa actividad intelectual y sobre todo por un incansable interés en el descubrimiento de cuestiones nuevas; pero de todos sus trabajos dos resaltan especialmente: el estudio de la electrocapilaridad y la fotografía de los colores.

Durante su estada en Alemania, de 1872 a 1874, Lippmann inicio su célebre trabajo sobre electrocapilaridad, que preparó durante varios años.

Este estudio encontraba su fundamento en un experimento, conocido desde años atrás, ya que HENRY lo señaló en 1800, y que consiste en producir una brusca constricción de una gota de mercurio sumergida en agua acidulada, por el simple contacto con un trozo de alambre.

ERMAN, en 1809, repitió el mismo experimento con ligeras modificaciones de disposición y J. HERSCHEL, en 1824, volvió a hacer otro tanto. RAOULT, en 1864, mostró que la polarización del mercurio es mayor que la del platino. He aquí los principales antecedentes.

Lippmann llegó a encontrar en este fenómeno la unión entre la constante capilar de la fórmula de LAPLACE y la diferencia de tensión eléctrica producida por el contacto. Este estudio teórico del fenómeno interesó además a QUINCKE (1874), GIBBS (1878), HELMHOLTZ (1881), KOENIG (1882) y PASCHEN (1891).

Lippmann realizó al mismo tiempo dos hermosas aplicaciones de su estudio: con el invento de su bien conocido "electrómetro capilar" (1) que permite medir la diferencia de potencial de contacto entre un metal y un líquido y cuyo funcionamiento fué explicado por HELMHOLTZ; y con el invento de su "motor electrocapilar", menos conocido pero

(1) GANOT, pág. 780; CHWOLSON, t. IX, pág. 211; WATSON, pág. 788.

no menos interesante, y que tal vez tenga en el porvenir mayor resonancia por ser el único de su tipo.

El electrómetro capilar de Lippmann fué perfeccionado por SIEMENS (1874) y por OSTWALD (1887).

Fué su estudio de la electrocapilaridad que dió celebridad a Lippmann y lo elevó a una situación que le permitió dedicarse exclusivamente a las investigaciones científicas.

En 1879 y 1880, enunció dos principios: el de la conservación de la electricidad y el de la inercia de la electricidad estática.

El primero de estos principios es para la electricidad lo que para el calor fué el principio de CARNOT. El segundo fué inspirado por el experimento de ROWLAND (véase) y ha sido ampliamente desarrollado por varios físicos.

En 1890, Lippmann dió la primera solución práctica del problema, aún no resuelto satisfactoriamente, de la fotografía de los colores.

Hemos visto anteriormente que la fotografía de los colores había preocupado a SEEBECK (1810), HERSCHEL (1841), EDMUNDO BECQUEREL (1848), NIEPCE DE SAINT VICTOR (1851) y POITEVIN (1865). (1)

El método de SEEBECK consistía en encerrar entre dos placas de vidrio, cloruro de plata en polvo, exponerlo a la luz hasta hacerle adquirir un tono violado oscuro y luego exponerlo a la imagen de la cámara oscura.

El método de BECQUEREL consistía, en su forma más perfecta, en someter a la corriente una lámina de plata o de cobre plateado, como electrodo positivo en una solución de ácido clorhídrico.

El procedimiento de POITEVIN, algo más complicado, tenía como principales operaciones preparatorias, la sumersión de una hoja de papel en una solución de nitrato de plata, luego en una solución de cloruro de zinc, su exposición a la luz difusa y su sumersión en una mezcla de soluciones de bicromato de potasa y de sulfato de cobre.

(1) Véanse las biografías respectivas.

Esos métodos tenían como inconveniente infranqueable, que las impresiones obtenidas no podían ser fijadas.

En 1869, CHARLES CROS (1) y DUCOS DE HAURON, en experimentos independientes, imaginaron la reproducción de los colores por un método completamente distinto: el método tricromático. Se sacaban tres negativos incoloros, colocando cada vez delante del objetivo vidrios de color que absorbieran, para el primer negativo todos los colores menos el amarillo, para el segundo todos menos el azul y para el tercero todos menos el rojo. Se coloreaban entonces esos negativos con amarillo, azul y rojo respectivamente y se superponían. DUCOS llegó más tarde a realizar el mismo efecto con una sola placa que tenía rayas muy finas de cada uno de los tres colores colocados alternativamente.

Este procedimiento cayó en absoluto descrédito durante ún cuarto de siglo, hasta que los tipógrafos norteamericanos lo utilizaron para la impresión de fotograbados en tres tintas, o sea para la "tricromía".

El método que Lippmann imaginó en 1890 es absolutamente distinto a los anteriores y es el único absolutamente físico. Basado exclusivamente en la teoría de la luz, consiste, como bien se sabe, en hacer interferir los rayos que penetran en la cámara oscura con su reflexión en un espejo colocado detrás de la placa. Esta placa se impresiona en los lugares donde existe un máximum de luz y queda dividida en pequeñas láminas separadas unas de otras por millonésimos de milímetro, siendo esta distancia función del color del rayo incidente. Cuando la luz blanca se refleja en el espejo de esta placa y atraviesa la placa sensible así impresionada, reproduce los colores (2). Lippmann obtuvo

---

(1) CARLOS CROS (Fabrezan 1842-París 1888), ingeniero y poeta francés, se ocupó de medicina, de filosofía, de literatura, de ciencias naturales, del problema de la fotografía de los colores y, en Francia, muchos autores defienden, con valiosos argumentos, indiscutibles títulos de Cros al invento del fonógrafo. (Véase EDISON).

(2) GANOT, pág. 558, 560 y 571; WATSON, pág. 522; LIPPMANN, "La Photographie des couleurs". Rev. Gén. des Sciences, 1892, pág. 41.

así hermosas reproducciones del espectro y de objetos de colores vivos como cristales, fuentes de loza, papagayos, etc.

La noticia de este interesantísimo invento causó entusiasmo, y la celebridad de Lippmann, hasta entonces limitada al mundo científico, se volvió universal.

Pero el procedimiento de Lippmann, que conserva siempre el mérito de haber sido el primero en dar resultados indiscutibles y que conserva también el atractivo de su origen estrictamente científico, adolece de graves defectos en la práctica.

En 1895, OTTO WIENER, en un interesante trabajo (1), hizo la crítica de los métodos anteriores de fotografía de los colores. Demostró así que las pruebas obtenidas por BECQUEREL deben sus colores a la producción de ondas estacionarias y que, por consiguiente, sufren, como las de Lippmann, que se deben a interferencias, del defecto de no poseer verdaderamente sus colores, mientras que los métodos de SEEBECK y de POITEVIN son los únicos que tienen coloración propia observable, tanto por reflexión como por refracción. Como consecuencia de su estudio, WIENER opinó que para obtener imágenes coloreadas visibles, tanto por reflexión como por refracción, debería encontrarse una substancia negra absorbente compuesta por la mezcla de substancias elementales, que absorbieran cada una todos los colores menos uno. Muchos investigadores trataron de cumplir con estas exigencias, y entre ellos citaremos a WOREL y a NEUHAUSS, pero sus procedimientos ofrecían todos graves inconvenientes para la fotografía. (2)

Cuando los hermanos LUMIERE (3) se ocuparon de la fotografía de los colores, encontraron pues como métodos

---

(1) B. BRUNHES. "Idées sur la photographie des couleurs de Otto Wiener". Rev. Gén. des Sciences, 1895, pág. 609.

(2) E. COUSBET. "Récents progrès de la photographie des couleurs". Rev. Gén. des Sciences, 1906, pág. 599.

(3) AUGUSTO y LUIS LUMIERE nacieron en Besanzón en 1862 y 1864 respectivamente. En 1883 secundaron a su padre, ANTONIO LUMIERE, en la fundación de una fábrica de placas fotográficas, que desde entonces ha tomado enorme desarrollo. Además de la fotografía

existentes: los de SEEBECK, de BECQUEREL y de POITEVIN sin fijación posible, el método interferencial de Lippmann que había dado resultados completos, pero que adolecía de ciertos defectos, y el método indirecto de los tres negativos de CROS y de DUCOS, que no daba una verdadera fotografía de los colores pues necesitaba una coloración artificial de los negativos.

Estos sabios imaginaron entonces el tan conocido procedimiento Lumiere de fotografías en colores, que presentaron a la Academia de Ciencias en 1904. Entre la emulsión y el vidrio extendían una capa de granos de fécula bien cernida, repartiendo por igual fécula coloreada en rojo, en azul y en amarillo.

Pero el principal defecto del método inicial de LUMIERE era que cada aficionado debía preparar sus placas y las operaciones de la coloración de la fécula y de su extensión sobre la placa eran sumamente difíciles. Los hermanos LUMIERE obtuvieron su mayor victoria cuando pudieron presentar placas autócromas preparadas industrialmente.

Lippmann siguió perfeccionando su método interferencial, pero siempre obtuvo colores oscurecidos y esto se debe, como lo demostró PFAUNDLER en 1905, a una verdadera destrucción de ondas del rayo incidente y del rayo reflejado, que impide la reproducción de ciertos matices. El método de LUMIERE tiene por su parte también el grave defecto de no permitir sino la producción de diapositivos en colores. La fotografía de los colores que ocupa a los sabios desde más de un siglo atrás, no ha encontrado aún una solución verdaderamente satisfactoria.

Para no alargar este estudio de la obra de Lippmann nos limitaremos a enumerar algunos otros de sus importantes trabajos teóricos y prácticos: su teoría de la piroelec-

---

de los colores, se deben a los hermanos Lumiere, grandes perfecciona mientos industriales en fotografía y en cinematografía, de la que fueron los principales fundadores. (Véase EDISON).

tricidad (1), su teoría de las unidades eléctricas con el método de determinación del ohmio (2), su principio de la conservación del movimiento de un péndulo por la electricidad (3), sus experimentos sobre termo-ósmosis (4), (1907), un galvanómetro de mercurio, un electrodinamómetro de mercurio, un contador de electricidad de mercurio, un celóstato, etc.

ROENTGEN
(1845-1923)

Primeros trabajos: calor específico de los gases, capilaridad y tensión superficial, rotación magnética del plano de polarización en los gases, electrostricción, piezo-electricidad, compresibilidad de los líquidos. Experiencia de ROENTGEN: desviación de la aguja magnética por rotación de un dieléctrico en un campo eléctrico. Los rayos X. Rayos LENARD.

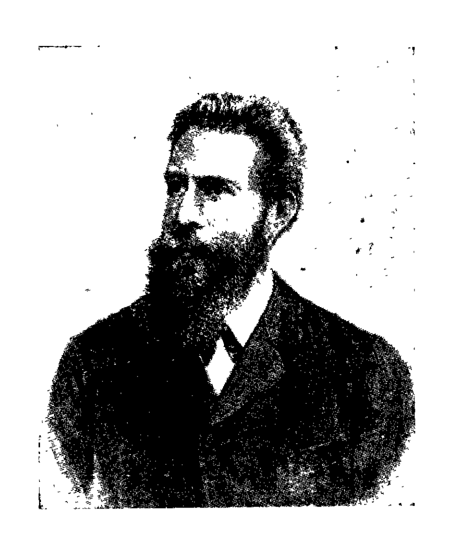
GUILLERMO CONRADO ROENTGEN nació en Lennep, Prusia, en 1845 y murió en 1923.

Estudió en Holanda y también en el célebre Politécnico de Zurich, donde fué preparador de KUNDT; luego fué profesor en Wurzburgo (Baviera), en Estrasburgo y en Munich.

Sus primeros trabajos originales interesan el calor específico de los gases. En 1878, se ocupó de capilaridad y de tensión superficial y, con KUNDT, estudió la rotación del plano de polarización de los gases por el campo magnético. En 1880, estudió la electrostricción en los sólidos y en los

(1) CHWOLSON, t. IX, pág. 299.
(2) CHWOLSON, t. XI, pág. 516.
(3) GANOT, pág. 97.
(4) GANOT, pág. 290.

líquidos dieléctricos. En 1883, aportó interesantes observaciones al estudio de la piezoelectricidad. En 1884, estudió la influencia de la presión sobre la viscosidad de un líquido. En 1888, hizo investigaciones acerca de la influencia de la temperatura sobre la compresibilidad de los líquidos. En el mismo año, realizó una experiencia de gran importancia para el desarrollo de la teoría de MAXWELL: Haciendo girar una lámina de vidrio (dieléctrico) entre dos lámi-



CONRAD ROENTGEN

nas cargadas de un condensador, observó la desviación de la aguja magnética. Era esta la experiencia complementaria de la experiencia de ROWLAND (véase). En 1892, Roentgen fué el primero en emitir la idea de que podría existir alguna diferencia entre la molécula del agua y la molécula del hielo.

Después de estos y otros trabajos de importancia secundaria, Roentgen realizó, en 1895, su descubrimiento de los rayos X, que le dió una inmediata celebridad en todas partes del mundo y en todos los ambientes.

Este descubrimiento deriva directamente de los estudios de las descargas eléctricas en los gases rarificados, a

los que contribuyeron NOLLET, ABBRIA, QUET, GROVE, GASSIOT, PLUCKER, GEISSLER, FARADAY, HITTORF, CROOKES, GINTL, PULUJ, GIESE, RIGHI, PERRIN, J. J. THOMSON, SCHUSTER (1), HERTZ, GOLDSTEIN, LENARD, etc. (Véase CROOKES).

Hemos estudiado la historia de esta cuestión en la biografía de CROKES, pero entre este sabio y Roentgen debe colocarse el nombre de LENARD (2). Este físico alemán, preparador y colaborador de HERTZ, había dado un nuevo aspecto a la cuestión de los rayos catódicos con su descubrimiento de los "rayos Lenard" en 1894. En verdad, no se trataba de un descubrimiento nuevo sino del estudio profundizado del experimento de la permeabilidad de finas láminas metálicas por los rayos catódicos, realizado ya por el malogrado HERTZ, en 1892.

LENARD estudió los rayos catódicos fuera del tubo de Crookes del cual salían a través de una delgada lámina de aluminio, y los observó ya en el aire a presión ordinaria, ya en el vacío, medios ambos en que los rayos catódicos no pueden ser formados. Demostró que estos rayos se propagan en el aire y en el vacío, impresionan la placa fotográfica, tienen fenómenos de fosforescencia, son desviados por el campo magnético, rodean los cuerpos opacos y son absorbidos por el ambiente. De todas esas propiedades, LENARD dedujo que se debía rechazar la hipótesis de la "materia radiante" de CROOKES y considerar a los rayos catódicos como una vibración etérea.

En un artículo de LENARD en los "Anales de Física y Química" de Berlín, de 1894, se leen las siguientes líneas

(1) ARTURO SCHUSTER (Francfort 1851-), físico alemán, establecido en Inglaterra donde fué presidente de la British Association y secretario de la Sociedad Real. Se ocupó de historia de la ciencia en Inglaterra.

(2) FELIPE LENARD (Presburgo 1862), físico alemán, profesor en Bonn, Breslau, Aquisgrán y Heidelberg. Entre sus estudios se destacaron especialmente los relacionados con la capilaridad, la fosforescencia, los rayos ultravioletas, los rayos catódicos. En 1905, Lenard recibió el premio Nobel.

que tienen una íntima relación con los primeros experimentos de Roentgen:

"Los rayos catódicos son fotográficamente activos. Con exposición bastante larga se observa perfectamente su influencia sobre la placa fotográfica. Una placa colocada debajo de una tapa de cartón ostentaba, después del experimento, zonas negras perfectamente delineadas. Encima del cartón se habían colocado varias cintas metálicas, que, según su grado de permeabilidad para los rayos catódicos, aparecieron en la placa más o menos oscuras. Sólo donde la cinta tenía cierto espesor, no era impresionada la placa. Está pues probado que los rayos catódicos atraviesan el cartón y los metales..."

Este artículo podría ser considerado como una de las causas de los experimentos de Roentgen quien, sin duda, lo había leído; pero se prefiere generalmente atribuir parcialmente a la casualidad el descubrimiento de los rayos X. Se dice que Roentgen estudiaba los rayos catódicos de un tubo de Crookes, cuando observó la fluorescencia de una pantalla cubierta con platino-cianuro de bario, que no se encontraba en la dirección de los rayos catódicos. Quiso impedir esta fluorescencia e interpuso, entre el tubo y la pantalla, una hoja de cartón, pero la pantalla siguió siendo fluorescente.

Aquí termina la casualidad; y Roentgen repitió el experimento con diversos cuerpos y observó la penetración de los rayos, descubrió sus propiedades y se dió cuenta de que se trataba de un fenómeno nuevo. Alguien le preguntó más tarde qué había pensado en aquel momento y Roentgen le contestó con esta frase admirable: "No pensé nada; investigué".

Investigó, pues, y presentó una memoria de la cual destacamos los siguientes párrafos:

"No he podido poner en evidencia ningún efecto calorífico de los rayos X; se puede sin embargo suponer que tal efecto existe..."

"La retina del ojo es absolutamente insensible a
" los rayos... He buscado, en cambio, si los rayos podían
" ser desviados por un prisma. Experimentos hechos
" con agua y sulfuro de carbono contenidos en prismas
" de mica de 30 grados no han dado desviación algu-
" na. Con prismas de ebonita y de aluminio se han ob-
" tenido, en la placa footgráfica, imágenes que harían
" suponer que una desviación existe... Es sin embar-
" go poco seguro y correspondería a un índice no ma-
" yor de 1.05... No he logrado observar la menor
" desviación de los rayos X ni en los campos mag-
" néticos más intensos. HERTZ y LENARD han
" observado que hay varias clases de rayos catódicos
" que difieren en sus propiedades fosforescentes, en su
" facilidad de absorción y en su grado de desviación por
" el imán. (1) pero siempre en todos los casos estu-
" diados, se observó una desviación notable, y pienso
" que esta desviación constituye un carácter que no se
" puede descuidar fácilmente... Los rayos X salen
" de la zona en que golpean el vidrio los rayos cató-
" dicos; no son idénticos a los catódicos en el tubo y
" no se producen sólo en el vidrio, pues los obtuve con
" una lámina de aluminio de dos milímetros de espe-
" sor... He tratado de obtener la interferencia de los
" rayos X, pero sin resultado, tal vez a causa de su po-
" ca intensidad... No se reflejan tampoco regularmen-
" te en la superficie de los cuerpos... no son polari-
" zados..."

Luego Roentgen se pregunta: "¿Estos nuevos rayos no deberían atribuirse a ondas longitudinales del éter?" Esta hipótesis, Roentgen no la podía verificar ya que sus experimentos de interferencia eran muy insuficientes. Es de notar, además, que JAUMANN ya había emitido una hipótesis similar acerca de los rayos catódicos (2).

---

(1) GOLDSTEIN había hecho la misma observación desde 1880 y afirmaba que contienen rayos no desviados por el imán.

(2) Véase la teoría de JAUMANN en "Los rayos catódicos y lo rayos Roentgen" por E. POINCARE (Revue Générale des Sciences, 1896, pág 58).

Roentgen publicó inmediatamente después de esta memoria, una segunda en que se ocupaba de la deselectrización de los cuerpos por los rayos X, fenómeno ya observado por varios físicos, y entre ellos RIGHI (1).

En 1897, en una tercera memoria, Roentgen hizo saber que en tubos de descarga de rarefacción distinta, los rayos X emitidos difieren en penetración, siendo más penetrantes los rayos de "ampollas duras" o sea de tubos que exigen un mayor potencial de descarga.

El descubrimiento de Roentgen y sobre todo su aplicación médica de "hacer ver el esqueleto" impresionó enormemente a las masas y la prensa dió cabida en sus columnas a las más fantásticas explicaciones e interpretaciones del nuevo fenómeno. En el mundo científico la agitación no era menor y como simple indicio de ello recordaremos que un solo número de la "Revue Générale des Sciences" (30 de enero de 1896) publicó seis artículos sobre el mismo tema, con las firmas de OLIVIER, ENRIQUE POINCARE, ROENTGEN, SCHUSTER, BOTTOMLEY (2) y PERRIN.

Las investigaciones se prosiguieron en todos los centros intelectuales y entre sus mayores resultados deben figurar el descubrimiento de la radioactividad, cuya historia estudiamos con CURIE.

Entre otros progresos deben recordarse: la demostración de la reflexión de los rayos X, ya señalada en algunos casos por Roentgen, por WINKELMANN y STRAUBEL, quienes demostraron también su absorción, su propagación difusa y su producción de fluorescencia; la clasificación de los rayos X por BENOIST (3); la determinación de la cantidad de energía transportada por los rayos X realizada por RUTHERFORD y CLUNGH; la demostración de CURIE y SAGNAC de que los rayos X no transportan

(1) RIGHI, "La naturaleza de los rayos X", Scientia, 1914.
(2) JAIME T. BOTTOMLEY (n. 1845), físico inglés, profesor en Glasgow, estudió la elasticidad de los metales, la conductibilidad del agua, la medida de la radiación térmica.
(3) GANOT, pág. 798.

una carga eléctrica apreciable, lo que los diferencia bien de los rayos catódicos; la determinación de la velocidad de propagación de los rayos X realizada por BLONDLOT (1), con un procedimiento basado en el hecho de que la chispa de un resonador de HERTZ aumenta de brillo bajo el efecto de rayos X, y cuyo resultado fué que estos rayos tienen la misma velocidad que las ondas magnéticas y, por consiguiente, la misma velocidad que la luz; la demostración de la difracción de los rayos X por LAUE (2), FRIEDERICH y KNIPPING (1912) (3); el estudio de la difusión de los rayos X, realizado por J. J. THOMSON, P. DEBYE y BARKLA, y el estudio de esta difusión con cambio de frecuencia por COMPTON (1923) ("efecto Compton").

Quien sigue con atención las publicaciones científicas desde fines del siglo pasado ha podido darse cuenta de todas las vacilaciones, errores y engaños a que ha dado lugar la explosión de interés y de entusiasmo causada por el admirable descubrimiento de Roentgen. Ha visto así estudios sobre los "rayos secundarios" de SAGNAC (4) y la larga serie de artículos y de polémicas acerca de los "rayos N" que BLONDLOT creyó descubrir en 1902 (5).

Por otra parte, después de una sugestión hecha en 1896 por ENRIQUE POINCARE y una observación hecha en el mismo año por ENRIQUE BECQUEREL, BECQUEREL y los esposos CURIE hicieron nacer la radioactividad, magnífica derivación del descubrimiento de Roentgen. (Véase CURIE).

---

(1) PROSPERO R. BLONDLOT (Nancy 1849), doctor en ciencias (1881) y maestro de conferencias de la Universidad de Nancy.

(2) LAUE, físico alemán, profesor en Zurich, se destacó en el estudio del principio de la relatividad.

(3) GANOT, pág. 800; Física de WATSON, pág. 823.

(4) SAGNAC, "Luminescence et rayons X" (Revue Générale des Sciences 1898 pág. 315).

(5) ASCOLI, "Les rayons N" (Revue Générale des Sciences 1904, pág. 265). BLONDLOT, "Photographie des rayons N" (Revue Générale des Sciences 1905, pág. 727). "¿Los rayos N existen?" (Année Scientifique, 1904).

El estudio de los rayos X y de sus propiedades ha sido el objeto, además, en el siglo XX, de numerosas investigaciones y explicaciones de grandes consecuencias sobre los conceptos y las hipótesis acerca de la estructura de la materia. Puede afirmarse que el descubrimiento de Roentgen significa un paso enorme en la evolución de la ciencia, tanto por sus extraordinarias consecuencias en la ciencia pura y teórica como por sus innumerables y magníficas aplicaciones en la medicina y en la industria.

Es por esto que HOPPE considera el período 1895-1896 como un "límite en la investigación física" y las obras de Roentgen, BECQUEREL, PLANCK, ZEEMAN, LORENTZ, como las "fuentes principales de un nuevo período de investigaciones".

BELL
(1847-1922)

El teléfono. El fotófono. El telestroscopio.

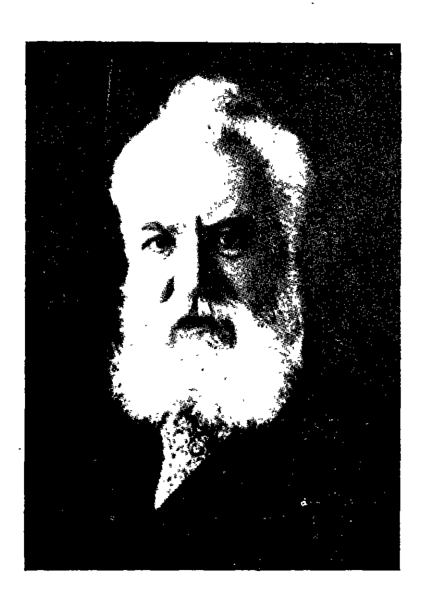
GRAHAM BELL nació en Edimburgo en 1847 y murió cerca de Halifax, en Nueva Escocia, en 1922.

Su padre, Alejandro Bell, se había especializado en la enseñanza de sordo mudos y había imaginado un método de cierto valor. Graham, que se educó en la Universidad de Londres donde estudió Filosofía y Medicina, siguió las huellas de su padre y fué profesor de sordo-mudos. Se casó con una sordo-muda y, a los veintitrés años, se fué al Canadá de donde pasó, dos años más tarde, a Boston, instalándose definitivamente en esa ciudad donde ejerció el cargo de profesor de fisiología vocal.

Fué en su empeño de realizar un aparato que, aumentando la intensidad de la voz, permitiera a los sordos oirla, que Bell inventó el teléfono, en 1876.

Como consecuencia de este invento, Bell imaginó, en 1880, el "fotófono", o sea un aparato que trasmite los so-

nidos por medio de ondas luminosas. (1) Su principio es sencillo: Una placa vibratoria de mica plateada recibe la voz y por sus vibraciones se vuelve cóncava o convexa, haciendo convergir o divergir rayos luminosos que se reflejan en ella. Estas variaciones de la intensidad de la luz reflejada, recibida por un receptor parabólico provisto de selenio en su foco, provocan en éste variaciones de conduc-



GRAHAM BELL

tibilidad eléctrica. Colocando en fin, un teléfono y el selenio en un circuito, las variaciones de la intensidad de la corriente reproducen en el teléfono las vibraciones sonoras emitidas por el trasmisor. El fotófono permitió reproducir así sonidos a una distancia de 200 metros; es un verdadero radioteléfono sin ondas eléctricas.

En 1877, Bell trató también de resolver el problema de la televisión por medio de un aparato basado en la pro-

(1) Véase la historia de la radiotelefonía en la biografía de MARCONI.

piedad del selenio y llamado por él "el telestroscopio", pero los resultados no fueron satisfactorios.

Por sus interesantes inventos, Bell mereció muchos honores y, entre ellos, el gran premio de VOLTA, que le fué otorgado por el Gobierno Francés, en 1880, y la medalla de oro de la Sociedad de Bellas Artes de Londres, en 1902.

La importancia del invento del teléfono ha provocado naturalmente la envidia de muchos electricistas menos afortunados, que, con o sin derechos, se han disputado el honor de la prioridad del invento. Determinar con absoluta justicia a quién pertenece este mérito no es cosa sencilla, aun conociendo en sus detalles la historia del teléfono, cuyos rasgos sobresalientes indicaremos aquí:

El primer instrumento que permitiera aumentar el alcance de la voz, sería la corneta acústica que ARISTOTELES habría inventado para que Alejandro pudiese hacerse oir por sus tropas reunidas.

El primer aparato que reprodujera la voz por medio de la reproducción de las vibraciones originales sería el "teléfono de hilo" de HOOKE.

En 1782, el monje GAUTHEY (1) inventó el teléfono acústico formado por tubos metálicos, que todavía se usa para comunicaciones internas en un mismo edificio, aparato que fué presentado por CONDORCET en la Academia de Ciencias de París.

En 1837, los físicos americanos PAGE y HENRY descubrieron que imanaciones y desimanaciones sucesivas del hierro dulce producen la "música galvánica" que WERTHEIM (2) atribuyó a especies de pulsaciones del hierro.

(1) E. M. GAUTHEY (1732-1806), matemático y físico francés.

(2) GUILLERMO WERTHEIM (1815-1861), fué profesor en París y examinador en la Escuela Politécnica desde 1855. Se recuerdan sus experimentos sobre la tracción de los hilos (CHWOLSON, t. II, p. 366), sobre elasticidad (1849), sobre la torsión de los hilos y de las varillas con la comprobación de los trabajos de COULOMB (1857) (CHWOLSON, t. II, p. 396) y sobre las vibraciones espirales de las varillas (1857) después de CHLADNI, BIOT y SAVART. En acústica, son bien conocidas sus experiencias y determinaciones acerca de la propagación del sonido en distintos medios. Para el cálculo de la velocidad y del sonido en el aire, Wertheim utilizó la fórmula previamente

En 1851 y 1852, respectivamente, FARRAZ y PETRINA hicieron ensayos más o menos satisfactorios de trasmisiones electromagnéticas de sonidos musicales.

En 1854, FROMENT construyó un vibrador eléctrico y llegó a reproducir así el sonido a distancia. FROMENT es, pues, indiscutiblemente uno de los precursores directos del teléfono eléctrico.

El 26 de agosto del mismo año de 1854, la "Illustration" de París publicó un artículo de BOURSEUL, empleado de los telégrafos franceses, del que destacamos las siguientes líneas:

> "Imaginad que se hable cerca de una placa mó-
> " vil bastante flexible para que no se pierda ninguna de
> " las vibraciones producidas por la voz; imaginad que
> " esta placa establezca e interrumpa sucesivamente la
> " comunicación con una pila; se podrá tener, a dis-
> " tancia, otra placa que ejecutará exactamente las mis-
> " mas vibraciones."

Esta idea de BOURSEUL no fué recogida y quedó el proyecto sin realización.

En 1859, WHEATSTONE buscó la solución en el mismo sentido y, en 1861, FELIPE REISS, un maestro alemán de Hamburgo, construyó un aparato que reprodu-

---

establecida por él mismo (1850) como ampliación del estudio de WEBER: $N = \frac{V}{4(L+l)}$ en que N es el número de vibraciones, V la velocidad del sonido. L la longitud del tubo cerrado y l un coeficiente de corrección (CHWOLSON, t. III, p. 152 y 155). Para la velocidad del sonido en los sólidos hizo experiencias con LUIS BREGUET en hilos telegráficos y en varillas. Aquí aplicó (1848) la fórmula: $N = \frac{V}{2L}$ en que N es el número de vibraciones, V la velocidad del sonido y L la longitud de la varilla. Para la velocidad del sonido en los líquidos (1849), siguió el método de CAGNIARD DE LA TOUR (1835) consistente en hacer vibrar una columna líquida en un tubo pero, mientras CAGNIARD DE LA TOUR hacía vibrar el tubo, Wertheim obtenía la vibración con una corriente líquida exterior. En electricidad, estudió los fenómenos de magnetostricción después de PAGE y fué uno de los primeros en ocuparse de la influencia de la presión sobre la imanación (1852). En óptica, estudió la influencia de la presión sobre la birrefringencia de los cristales (1854), influencia observada por BREWSTER en 1815.

cía muchos sonidos aunque no la voz humana, y le dió el nombre de teléfono.

MANZETTI, de Aosta, inventó, en 1865, un aparato parecido en principio al teléfono de Bell, pero muy imperfecto.

En 1872, otro italiano, MEUCCI (1), hizo conocer un teléfono que habría inventado hacia 1849.

ARISTOTELES, HOOKE, GAUTHEY, PAGE, FARRAZ, PETRINA, FROMENT, BOURSEUL, WHEATSTONE, REISS, MANZETTI, MEUCCI, que ya hemos citado y a los cuales podrían agregarse aún los nombres de YATES (Dublín 1865), WEYDE, CECIL, WRAY, WRIGHT (1836-1915), JAIME DAVY, VARLEY (2), LACOUR y otros, han contribuído todos al invento del teléfono. No disminuyen sin embargo el valor de la obra de Bell, pues bien sabemos que los descubrimientos no pertenecen casi nunca a un solo hombre y que es por ignorancia que se atribuye únicamente al "realizador" la obra lentamente preparada por numerosos precursores. Pero en el caso de Bell se discute también su título de realizador; y el que más se lo ha disputado es el sabio americano ELISHA GRAY (3). Este había imaginado, en 1874, en Chi-

(1) ANTONIO MEUCCI (¿?-Clifton, Estados Unidos, 1889), físico italiano establecido en Norte América, donde fué en busca de capitales para la explotación de su invento del teléfono. Según toda probabilidad, el invento de Meucci era verdaderamente valioso, pero tuvo la desgracia de que un capitalista, a quien sometió su proyecto, extraviara su descripción. Cuando Bell triunfó con el invento del teléfono, Meucci, que vivía en la miseria, hizo valer sus derechos, y sus argumentos no deben haber carecido de valor, ya que consiguió una indemnización de cien mil dólares.

(2) CROMWELL VARLEY (Kenbish Town 1828-Bexleyheath 1883), físico inglés, es conocido por sus estudios de electricidad y su intervención en la colocación del cable telegráfico submarino. Estudió la polarización del mercurio, el electrodo de gotas y sostuvo la explicación de los rayos catódicos como partículas materiales de carga negativa (1871).

(3) ELISHA GRAY (Barnesville, Ohio, 1835-Newtonville, Massachusetts, 1901), de modesto origen, fué aprendiz de carpintero, luego herrero y constructor A los 21 años entró en el Colegio de Oberlin, donde estudió física durante cinco años. Se ocupó entonces de construcción de aparatos eléctricos en Chicago y en Cleveland, y obtuvo más de cincuenta patentes de invento entre las cuales se recuerdan un refuerzo automático de telégrafo, un conmutador anunciador para hoteles, un telégrafo impresor, un repetidor telegráfico, un telégrafo multiplex armónico y un telautógrafo (pantelégrafo).

cago, un teléfono cuyo trasmisor estaba formado por una placa vibrante que llevaba fijo un estilete; la punta de este estilete tocaba ligeramente la punta de otro en posición invertida; ambos se encontraban en fin sumergidos en un líquido mal conductor. De este modo, las vibraciones de la placa producían alejamientos o acercamientos de las puntas de los estiletes, y la corriente, al atravesar espesores distintos del líquido, variaba de intensidad, y, como en el aparato de Bell, esas variaciones reproducían los sonidos en el receptor.

El 14 de febrero de 1876, a dos horas de distancia, ELISHA GRAY y Graham Bell se presentaron con sus solicitudes de patente de invención del teléfono; pero sólo se accedió al pedido de Bell, rechazándose la solicitud de GRAY por no cumplir con ciertas formalidades reglamentarias. De allí nació una larga discusión, que la Alta Corte de los Estados Unidos no pudo terminar con su fallo de 1888, fallo que fué favorable a Bell.

Según GRAY, Bell habría plagiado sus ideas que le habrían sido comunicadas por un Inspector de Patentes poco escrupuloso. No ha sido posible comprobar esas acusaciones, y lo más equitativo nos parece reconocer que GRAY y Bell llegaron simultáneamente a la solución teórica del problema; pero ninguno de esos dos inventos hubiera dejado de ser un simple aparato de laboratorio o una simple curiosidad científica sin el invento del micrófono, realizado por HUGHES, en 1878. (Véase HUGHES).

Seguir todos los perfeccionamientos que se han aportado al teléfono desde aquella fecha sería demasiado largo, y saldría por completo del cuadro de esta obra, pero es fácil imaginarse lo mucho que se ha hecho en ese sentido recordando que los imperfectos aparatos de Bell y de GRAY, se han transformado, en medio siglo, en los aparatos modernos que permiten comunicaciones trasatlánticas hechas con toda claridad, debido a los progresos alcanzados separadamente aunque simultáneamente en los distintos elementos del teléfono: el dispositivo de emisión, de trasmisión, de conmutación y de recepción.

EDISON (1)
(1847-1931)

Telégrafo duplex. Telégrafo cuadruplex. El fonógrafo. Lámpara de incandescencia. Cinematógrafo. Botón de hollín. Efecto Edison.

En la introducción de esta obra hemos hecho notar que muchos sabios han recibido su preparación científica fuera de la fuente oficial de las universidades y academias, libremente, a su gusto, por su sola voluntad. Ejemplos de esos sabios sin títulos ni diplomas son numerosos, y los hay aún en los sabios de erudición más profunda, pero ninguno quizá es un ejemplo más típico de la formación propia que Tomás Alva Edison.

La influencia de semejantes ejemplos tiene un enorme valor, pues contribuye a destruir el antiguo concepto del ciego respeto al título y el injusto prejuicio que hace dar más valor a un papel sellado que a las más claras demostraciones de capacidad y de saber.

TOMAS ALVA EDISON nació en 1847, en Milán, pequeña ciudad del estado de Ohio (EE. UU. A.) y murió en el año 1931. Su padre, Samuel Edison, hijo de holandeses establecidos en el Canadá, había sido desterrado de ese país por haber tomado parte en una rebelión, y había encontrado en la quieta Milán un apacible retiro. En Canadá, había sido agricultor, pero en los Estados Unidos ejerció varios oficios mientras su señora, que era maestra de escuela, se ocupaba en la primera educación de Tomás. Cuando éste cumplió siete años, sus padres se establecieron en Puerto Hurón, en Michigan, ciudad industriosa y próspera, donde Samuel Edison esperaba encontrar un ambiente más propicio para sus actividades. Pero no debió sonreirle mucho la fortuna ya que, a los doce años, su hijo Tomás vendía diarios y bombones en el ferrocarril entre

(1) "T. A. EDISON", por Jones. (Montaner y Simón, Barcelona, 1911).
"Edison", conferencias. P. F. Schurmann, Montevideo, 1933.

Puerto Hurón y Detroit, y allí, en un rincón del furgón de equipajes, imprimía un minúsculo periódico titulado el "Heraldo Semanal", en una prensa de juguete.

Poco después, el singular periodista, que tenía pretensiones de sabio, instaló en el mismo furgón un pequeño laboratorio compuesto por media docena de frascos. Esta innovación le fué funesta pues una torpe manipulación de un



EDISON

pedazo de fósforo provocó un principio de incendio, lo que indujo al encargado del furgón a echar a la vía imprenta y laboratorio, dando fin, con este gesto, al primer período de la vida periodística y científica de Edison.

El segundo período transcurrió en la redacción de un diarito que poco respetaba a la gente, y un día, el futuro sabio, autor de un artículo que ridiculizaba a cierto personaje irascible, pagó su atrevimiento con un baño en el ca-

nal, donde el colérico personaje lo arrojara. Este baño enfrió el entusiasmo del periodista, que dejó de escribir y de vender diarios.

No hemos mencionado aún en la juventud de Edison ninguna inclinación hacia el estudio de la electricidad. Debe observarse, sin embargo, que durante su infancia, la telegrafía eléctrica era la cuestión sensacional de la época, y es natural que Edison, como todos los niños, haya sido impulsado por una curiosidad instintiva hacia esta gran innovación. Recuérdase en efecto que, como también lo hicieran muchos de sus compañeros, Tomás había unido su casa con la de varios amigos por medio de líneas telegráficas.

No era esto suficiente para atraer al joven al estudio de la telegrafía; pero aquí intervino la casualidad. A los quince años, Edison le salvó valientemente la vida al hijo de un jefe de estación, arrancando al niño de la vía en el preciso momento en que un tren lo iba a alcanzar.

El padre del niño salvado demostró su gratitud a Edison enseñándole el manejo del telégrafo Morse y consiguiéndole luego un puesto de telegrafista nocturno en la estación de Puerto Hurón. Ganaba entonces veinticinco pesos por mes; pero esta dicha fué de poca duración pues fué despedido por falta de cumplimiento, ya que de día, en vez de descansar, estudiaba, y de noche, en vez de trabajar, dormía. Fué a Sarnia, otra estación telegráfica de ferrocarril, pero, distraído por sus estudios, se olvidó hacer detener un tren y sólo la pericia de un maquinista pudo impedir una catástrofe. Edison huyó entonces ante la amenaza de un juicio criminal, y ocupó puestos sin importancia sucesivamente en Puerto Hurón, Strafford (Canadá), Indianápolis, Cincinatti, Memphis y Boston. Cumplía siempre mal con sus obligaciones, preocupado sólo por el estudio de la telegrafía y, en 1868, provocó el choque de dos locomotoras como resultado de sus experimentos de un telégrafo duplex de su invento.

Fuése a Nueva York, consiguió un buen puesto en una fábrica de aparatos eléctricos y pudo abrir un pequeño taller propio. Vendió en esa época su telégrafo Duplex en

40.000 pesos a una compañía que se comprometió además a comprar todos sus inventos ulteriores. Instaló entonces un taller más amplio en Newark y, poco después (1873), confió su dirección a un amigo, y se instaló en el famoso laboratorio de Menlo-Park en el cual se dedicó por completo a la experimentación.

Es allí que inventó el telégrafo cuadrúplex (1874) como perfeccionamiento del duplex; perfeccionó el teléfono (1) con el carbón trasmisor cuya patente vendió a BELL; inventó el teléfono de agua, el condensador, el teléfono químico, el de mercurio, el de pila voltaica, el trasmisor musical, el receptor electro-motográfico, el telégrafo automático, etc., etc.

Edison se volvió pronto dueño de grandes usinas tanto en América como en Europa y millares de obreros trabajaron en la construcción de sus inventos, causados, ya por su afán científico, ya por el deseo de satisfacer la curiosidad o el capricho del público.

Para estudiar estos inventos se necesitaría escribir varios tomos; la sola lista de sus patentes llenaría muchas páginas, pues se recuerdan un millar de ellas. Aquí no nos detendremos más que en tres de sus grandes inventos o perfeccionamientos: el fonógrafo, la lámpara de incandescencia y el cinematógrafo.

Fué en 1877 que Edison inventó el fonógrafo (2), pero, como nada nace de la nada, debemos buscar su origen y lo encontraremos en el fonautógrafo de SCOTT (3). Este aparato registraba en un cilindro y por medio de un estilete,las vibraciones que un sonido produce en una membra-

---

(1) GANOT, p. 866.

(2) GANOT, p. 354; CHWOLSON, t. III, p. 201.

(3) LEON SCOTT (Mariainville, Francia, -París 1879), era obrero tipógrafo y a fuerza de grandes sacrificios pudo realizar en 1856 su fonoautógrafo en que soñaba desde mucho tiempo atrás, a pesar del escepticismo de los sabios que había consultado y a pesar de su falta de preparación científica. Edison ha cometido la falta de no reconocer la importancia del invento de Scott; pero Edison no fué el único que no reconoció los méritos de Scott y sus mismos compatriotas lo dejaron llevar su triste vida de obrero tipógrafo, en el fondo de una pequeña librería.

na muy flexible. Si se quiere buscar más lejos el origen de la fonografía, pueden encontrarse antecedentes del invento de SCOTT, "el padre del fonógrafo", en los diapasones inscriptores que se emplean en los cronógrafos. Como contemporáneos de Edison deben recordarse los nombres de E. BERLINER (1) y Ch. CROS, que, por distintos títulos, merecen figurar entre los inventores del fonógrafo.

Es interesante señalar que cuando, en 1878, DUMONCEL anunció a la Academia de Ciencias de París, el invento del fonógrafo por Edison, se le acusó de "excesiva credulidad" y que, aun después de una demostración, varios académicos no se daban por definitivamente convencidos. Edison dedicó diez años al perfeccionamiento del primer modelo de su invento y, en 1888, patentó el "fonógrafo Edison" que durante años satisfizo las exigencias del público.

Fué después del invento del fonógrafo que Edison empezó a ocuparse del alumbrado eléctrico (2), y él mismo dice: "En 1878, fuí a visitar al profesor BAKER, en Filadelfia y me mostró una lámpara de arco voltaico, la primera que vi. Fácil era ver que lo que se requería era una subdivisión. La luz era demasiado brillante y demasiado grande y lo que se deseaba eran luces pequeñas y que pudiesen instalarse en las viviendas como la luz del gas... Comenzamos a trabajar en busca de la solución del problema..."

De estas palabras de Edison se podría deducir que cuando se interesó en el problema, sólo se conocían los primitivos arcos voltaicos de DAVY. Nada más inexacto sin embargo, pues el alumbrado eléctrico había progresado considerablemente desde 1813 y entre los nombres de DAVY y Edison cabe toda una serie de nombres que recuerdan importantes perfeccionamientos de ese alumbrado.

---

(1) EMILIO BERLINER (Hannover 1851-Washington 1929), físico alemán, radicado en Norte América, contribuyó al perfeccionamiento del teléfono y del fonógrafo y, sobre todo, del empleo del disco en lugar del cilindro.

(2) "Electricité", doce conferencias de Eisenmenger (1913) (quinta conferencia).

DAVY descubrió el arco voltaico y encerró los carbones en un globo de vidrio en el cual hacía el vacío para evitar la rápida combustión de los carbones. Las pilas de GROVE y de BUNSEN, que permitían obtener una corriente continua no interrumpida por la polarización, facilitaron el uso del arco. Poco después, en 1844, FOUCAULT empleó un arco sin vacío para reemplazar la luz natural en el uso del microscopio solar y, en el mismo año, el constructor francés DELEUIL empleó el arco de FOUCAULT para el alumbrado público. En aquella época el mayor inconveniente del arco voltaico era la regulación de la distancia de los carbones que debía hacerse a mano; pero, en 1849 el inglés STAITE y, poco días después, FOUCAULT hicieron patentar reguladores automáticos. Hubo todavía muchos perfeccionamientos del regulador del arco voltaico debidos a WAY, DUBOSCQ (1), SERRIN, GAIFFE, etc., y hubo dispositivos que evitaban el uso del regulador como los de JABLOCHKOFF (2) y de JAMIN, por ejemplo.

Simultáneamente con esos progresos del arco de DAVY, fué inventada y perfeccionada la lámpara de incandescencia. Desde 1844, STARR, de Cincinatti, utilizaba como fuente luminosa la incandescencia de pequeñas vari-

---

(1) JULIO DUBOSCQ (1816-1886), fué un hábil constructor francés. FOUCAULT le hizo construir su regulador electromagnético y BREWSTER su estereoscopio. Pero Duboscq supo perfeccionar ambos inventos: aplicó el regulador de Foucault perfeccionando las máquinas de proyección y aplicó las fotografías dobles al estereoscopio de Brewster.

Duboscq era yerno de SOLEIL, el constructor del conocido "sacarímetro Soleil".

(2) PABLO JABLOCHKOFF (Serdobsk, gobierno de Saratof, 1847-Serdobsk 1894), físico ruso, estudió en la Escuela Militar de San Petersburgo y fué director de telégrafos de Moscú, antes de venir a París, donde fué empleado de la casa BREGUET (1875). Allí construyó su famosa "bujía de Jablochkoff" (GANOT, p. 831) que evita el uso de los reguladores del arco voltaico empleando carbones paralelos separados por una mezcla de yeso y kaolin. En la corriente continua la bujía tenía el inconveniente de que el carbón positivo se gastaba primero; pero en las corrientes alternas el gasto era igual en los dos carbones.

Jablochkoff inventó también una pila de sodio, una pila auto-acumuladora y un dínamo: pero ninguno de sus inventos le dió resultados materiales y, cuando se sintió agotado, el pobre inventor tuvo que pedir dinero a un amigo para poder volver a Rusia y morir en su pueblo natal. No todos los inventores tienen la suerte de EDISON.

llas de carbón, y vino a Londres para mostrar su invento a FARADAY. Después de un completo éxito, el inventor decidió volver a su patria para continuar sus estudios; pero murió durante el viaje de regreso.

Otras tentativas fueron realizadas por TOMAS WRIGH (1845), KING y DEHAUT. En 1858, un ingeniero belga, DE CHANGY, construyó una lámpara constituída por un fino filamento de carbón encerrado en una ampolla de vidrio vacía de aire. Esta lámpara tenía pues el primer dispositivo parecido al de la bombita moderna; pero la Academia de Ciencias de París, a la cual DE CHANGY presentó su invento, lo recibió con tanto escepticismo que el inventor se descorazonó y volvió a trabajar en las minas de carbón, abandonando para siempre su proyecto.

Es probable que Edison no conociera ese invento, pues él mismo nos dice, después de hablar de numerosos experimentos infructuosos: "Lo más extraño del caso es que entonces no pensaba yo, ni remotamente, que un filamento de carbón respondería a mis intentos pues lo consideraba demasiado sensible a la oxidación. Finalmente juzgué oportuno probarlo porque habíamos logrado vacíos muy perfectos y buenas condiciones para esta operación. Mandamos comprar hilo de algodón, lo carbonizamos e hicimos el primer filamento. Habíamos ya trabajado para hacer el vacío mayor posible y creímos que el filamento sería estable. Fabricamos la lámpara y le aplicamos la corriente. Lució... el día aquel, memorable en mi historia, el 21 de Octubre de 1879".

El filamento resistió durante 45 horas; Edison probó con otras materias carbonizadas y obtuvo el mejor resultado con unas fibras de bambú que había desprendido de las varillas de un abanico japonés. Para conseguir cantidades suficientes de tan preciosa materia y para poder estudiar las fibras de muchos tipos de bambú, Edison mandó varios de sus colaboradores al Japón, a Sumatra y a La Habana, a Sud América, Méjico, Ceilán, India, etc.

En 1881, la lámpara de Edison brillaba en la Exposición de Electricidad de París.

Los biógrafos de Edison le atribuyen rotundamente el invento del cinematógrafo, allá por el año 1887 (1); pero nos parece más exacto afirmar que el cinematógrafo fué el resultado de varios inventos sucesivos y que es imposible afirmar que alguien haya contribuído esencialmente a su realización (2).

Si es la idea fundamental de un descubrimiento la que tiene mayor importancia, es sin duda el belga PLATEAU quien debe ser considerado como el inventor del cinematógrafo, pues fué él quien determinó con exactitud el valor de la persistencia de las imágenes en la retina y quien aplicó estos datos al invento del "fenakitiscopio" o "zootropio" (1833). Este curioso aparato estaba formado por un disco giratorio en que se sucedían imágenes de animales con movimientos progresivos, de modo que, observando uno de sus puntos por una pequeña abertura y haciendo girar el disco, la ilusión del movimiento era perfecta. Este aparato fué perfeccionado por HORNER (1833), VON UCHATIUS (1845), SELLERS (1861) y REYNAUD (1877).

Este ingenioso juguete o aparato de laboratorio estaba muy lejos sin duda de nuestro cinematógrafo moderno; pero el principio científico ya se encontraba allí. La idea de la proyección luminosa era antigua: el padre KIRCHER ya la conocía; y el arco voltaico de DAVY le dió la intensidad luminosa necesaria. Pero faltaba inventar el aparato que sacara fotografías de movimientos sucesivos, pues los dibujos del zootropio de PLATEAU o de HORNER, del "praxinoscopio" de REYNAUD o del "kinematoscopio" de SELLERS, de Filadelfia, que proyectaba figuras pintadas en una pantalla (1861), eran sumamente imperfectos por más que la cinematografía moderna nos demuestre con sus "dibujos animados" todo el provecho que se puede sacar también de ese experimento.

---

(1) GANOT, p. 349.

(2) "Evolution du cinéma", por el DOCTOR REGNAULT. Revue Scientifique, 1922.

En 1849, FAYE (1) imaginó fijar fotográficamente las fases sucesivas de los astros; en 1861, DUMONT propuso el empleo de la fotografía en el zootropio; en 1863, DUCOS DE HAURON previó la posibilidad del cinematógrafo tal como lo conocemos; en 1870, ENRIQUE HEYL colocaba fotografías en un disco giratorio delante de la máquina de proyección; en 1874, JANSSEN fabricaba un "revólver fotográfico" bueno para la fotografías de los astros, pero demasiado lento para el análisis del movimiento; en 1878, el americano MUYBRIDGE llegó al análisis fotográfico del movimiento de un caballo al galope gracias a las placas extra-rápidas inventadas por el belga VAN MONCHKHOVEN; en 1882, MAREY (2) inventó un "fusil fotográfico" inspirado en el revólver de JANSSEN. Pero se trabajaba con placas, faltaba aún la película.

Establecer quién fué el inventor de la película resulta tan difícil como buscar el del cinematógrafo mismo. En 1851 LEGRAY empleaba papel encerado; en 1857, CORBIN inventó una película de colodión; en 1879, FERRIER, en 1885, EASTMAN, en 1887, el pastor protestante GOODWING, agregaron diversos perfeccionamientos y, en 1889, en fin, MAREY, después de muchos ensayos y proyectos distintos, aplicó la película larga a la máquina fotográfica e inventó un dispositivo para detener el "film" cuando se abre el obturador. Este invento del "cronofotógrafo" por MAREY induce a muchos autores franceses a confirmar que MAREY fué el verdadero "padre del cinematógrafo"; sus méritos son indiscutiblemente muy grandes.

---

(1) HERVE FAYE (Saint Benoit, Indre, 1814-París 1902), astrónomo francés, fué discípulo de ARAGO y llegó en su larga vida a los más altos honores académicos. Descubrió en 1843, un cometa que lleva su nombre y fué estudiando el movimiento de los cometas que emitió la hipótesis de que la luz solar debe ejercer una presión mecánica, como lo demostraron más tarde MAXWELL y BARTOLI.

(2) E. J. MAREY (Beaune, Francia 1830-París 1904) era Presidente de la Sociedad de Biología de Francia y miembro de la Academia de Medicina. (Véase: "La Cronofotografía" por Marey. Revue Générale des Sciences, 1891, pág. 689).

Otros autores dan el mismo título a L. DEMENY (1), quien inventó en 1889 un dispositivo para producir automáticamente imágenes equidistantes en el film, mientras que en el sistema de MAREY las imágenes, no equidistantes, debían recortarse y luego pegarse en otra cinta. Este gran perfeccionamiento provocó una acerba discusión entre MAREY y DEMENY sobre derechos de invento.

Pero el invento de MAREY y de DEMENY sólo se aplicaba a la máquina de sacar vistas y no al proyector.

Edison perfeccionó la máquina de proyectar las vistas con su dispositivo de los films perforados, procedimiento que ya era empleado en muchos aparatos de otros usos pero con la misma finalidad, y, en 1891, inventó el "kinetógrafo" y el "kinetoscopio" que mantuvo en secreto durante dos años. Su kinetoscopio fué el primer aparato aplicable en la práctica y puede ser considerado como el primer cinematógrafo moderno.

Fueron, sin embargo, los hermanos LUMIERE quienes en 1895 dieron al problema de la cinematografía, considerada como espectáculo público, su primera solución práctica y real, siendo seguida de inmediato por la Casa GAUMONT de París.

No extenderemos más este breve estudio de la obra de Edison aunque muchas otras ideas originales podrían destacarse entre sus tan numerosos inventos. Recordemos aún, sin embargo, que, en 1876, cuando BELL inventó el teléfono, Edison inventó el "botón de hollín" que sirvió de base a HUGHES en el invento del micrófono (véase HUGHES) y señalaremos para demostrar la variedad de preocupaciones del inventor, que, en 1890, imaginó un procedimiento de "tratamiento de la gota por endósmosis eléctrica de sales de litio", que, en nuestros días, ha vuelto a ser adoptado en medicina. (2)

---

(1) L. DEMENY, médico francés, preparador de MAREY, murió en 1917.

(2) Léase una descripción de este origen de la "ionoterapia" que resurgió en medicina hace pocos años en "Gazette Médicale" (Dic. de 1890) o en "Revue Scientifique" 1890, pág. 765.

Por lo que hemos visto podemos afirmar que Edison fué un inventor extraordinario; su energía, su sentido práctico, su paciencia y una suerte indiscutible le han permitido realizar una obra inmensa.

Dejando ahora de lado la vasta lista de sus inventos, debemos destacar un descubrimiento que ocupa un lugar especial en la obra de Edison, pues, contrariamente a sus inventos, que consisten casi todos, según sus propias palabras, en "adaptar a una aplicación práctica las ideas de los otros", este descubrimiento es original y determina la iniciación de nuevos rumbos de investigación. Es el descubrimiento del "efecto Edison", descubrimiento que dicho inventor realizó en 1883 como feliz e inesperado epílogo de su invento de la lámpara de incandescencia. Observó, en efecto, que el filamento incandescente emite partículas electrizadas negativamente (que hoy llamamos "electrones"); y este fenómeno, que fué ampliamente estudiado por el sabio inglés RICHARDSON, sirvió de base al invento del tubo COOLIDGE en Rayos X, de la válvula de FLEMING y de la lámpara audión de LEE DE FOREST (1907), verdadero corazón de la radioelectricidad.

Edison no fué un verdadero hombre de ciencia sin embargo, y muchos sabios se han sentido desilusionados al tratar de sondear la profundidad de sus conocimientos teóricos. Fué el príncipe de los inventores, el rey de los mecánicos; pero fué, como lo dice acertadamente su biógrafo Jones: "un término medio entre el hombre de ciencia y el público".

ROWLAND (1848-1901)

Experiencia de ROWLAND (fenómeno Rowland. Corrientes de convección). Determinación del equivalente mecánico del calor. Retículo cóncavo.

ENRIQUE A. ROWLAND, reconocido como su jefe por los físicos americanos de las últimas décadas del siglo XIX, nació en Pensilvania en 1848 y murió en Baltimore en 1901.

Después de brillantes estudios para conquistar el título de ingeniero, Rowland abandonó su profesión para dedicarse exclusivamente a la ciencia pura y a la física particularmente.

En 1872, después de haber hecho conocer su primer trabajo, que trataba del magnetismo del hierro, fué nombrado profesor de física del Instituto Politécnico Troy de Nueva York.

Gozando de una larga licencia con beca de estudio, realizó un viaje por los principales países de Europa, y, en 1876, cuando descubrió el "fenómeno Rowland", trabajaba en Berlín, en el laboratorio de HEMHOLTZ. El ilustre sabio alemán se ocupaba en aquella época de la demostración de las ideas de WEBER sobre la corriente eléctrica considerada como un transporte verdadero de partículas materiales. Creía que esta hipótesis, que no era indispensable a las demostraciones matemáticas de WEBER, podría encontrar una confirmación en la determinación de la acción electromagnética ejercida por una carga eléctrica en movimiento tal como lo había previsto teóricamente MAXWELL. Varios colaboradores de HELMHOLTZ habían sido encargados por éste de realizar experimentos en ese sentido, pero sus resultados habían sido negativos; Rowland le propuso entonces un nuevo plan de experimentación,

que tuvo por resultado el descubrimiento del conocido "fenómeno Rowland". (1)

El sabio americano demostró experimentalmente que una masa electrizada en movimiento obra sobre una aguja magnética como una corriente de conducción, y se imaginó entonces el nombre de "corriente de convección" por oposición a las corrientes de inducción. Para alcanzar este resultado, Rowland se sirvió de un disco de materia aisladora provisto de sectores metálicos con fuertes cargas electrostáticas; lo hacía girar con gran velocidad y observaba una desviación de la aguja magnética. Si la carga era positiva esta desviación se hacía en el mismo sentido que si fuese causada por una corriente eléctrica dirigida en el sentido de rotación del disco.

Este memorable experimento, realizado en Berlín en 1876, fué repetido por el mismo Rowland en Baltimore y otras veces por HIMSTEDT y por HUTCHINSON, quienes obtuvieron un completo éxito y llegaron a determinar hasta la intensidad del campo magnético creado por el disco.

El fenómeno de Rowland, que tuvo una enorme influencia en la edificación de la teoría de los electrones, se aplicó a la explicación de las chispas eléctricas, de las corrientes electrolíticas, del fenómeno de ZEEMAN y de los rayos catódicos, considerados como cargas eléctricas en movimiento, creadoras de un campo magnético que causa la desviación de la aguja magnética.

LIPPMANN ya creyó encontrar un argumento contra la experiencia de Rowland cuando demostró que la existencia del campo magnético causado por la corriente de convección hace teóricamente necesaria la coexistencia de un campo electrostático, que la experiencia no permite descubrir.

En 1901, un ingeniero agrónomo francés que se ocupaba desde varios años atrás de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, CREMIEU, creyó haber demostrado experimentalmente que una masa eléctrica en movi-

---

(1) GANOT, pág. 795; GUILLEMINOT, "Nouveaux Horizons de la Science", t. II, pág. 41.

miento no puede tener efectos electromagnéticos parecidos a los de una corriente de conducción; pero, poco después, el físico americano PENDER (1), discípulo de Rowland, anunciaba que sus experimentos confirmaban ampliamente el descubrimiento de su maestro.

El desacuerdo entre CREMIEU y PENDER era de importancia capital; la electrodinámica encontraba en el "fenómeno Rowland" una feliz comprobación de los conceptos modernos, pero este fenómeno sólo había sido comprobado por experimentos sumamente delicados y sujetos a fáciles equivocaciones o errores de interpretación.

CREMIEU, con otras experiencias de gran precisión, amenazaba destruir todo el edificio de teorías que tenía por base a los trabajos de AMPERE, WEBER, HELMHOLTZ y MAXWELL y que sostenía a su vez las teorías de LORENTZ y de HERTZ.

Rowland murió sin tener tiempo de rechazar las objeciones de CREMIEU; pero dejó indicaciones a su discípulo PENDER.

E. POINCARE (2), convencido de la exactitud de los experimentos Rowland-Pender y, sobre todo, interesado en resolver el litigio que ponía en peligro la teoría electrodinámica, formó una comisión de sabios para presenciar, en la Sorbona y en la Academia de Ciencias, los experimentos contradictorios de CREMIEU y de PENDER. En el resumen de la sesión de la Academia de Ciencias del 14 de abril de 1903, vemos:

"Los señores V. CREMIEU y H. PENDER, des-
" pués de haber encontrado la causa de los resultados
" contradictorios a los cuales habían llegado separada-
" mente en el estudio de la convección eléctrica, con-
" cluyen de sus experimentos comunes que: Superfi-

(1) HAROLD PENDER (n. Tarboro 1879), físico e ingeniero americano, profesor en el Instituto Técnico de Massachusetts (1905), estudió en París.

(2) ENRIQUE POINCARE, "La Science et l'Hypothèse", pág. 277 y el mismo en "A propos des expériences de Crémieu" en la Revue Générale des Sciences 1901, pág. 994.

"-cies metálicas cargadas, continuas o divididas en sec-
" tores, y girando en el aire en su propio plano, pro-
" ducen efectos magnéticos en el sentido previsto para
" la convección eléctrica."

Rowland, y con él toda la electrodinámica moderna, habían triunfado (1).

Volvamos a la biografía de Rowland después de su descubrimiento del fenómeno que lleva su nombre. En 1879 y 1880, de vuelta a Baltimore, este sabio realizó interesantes experimentos para la determinación del equivalente mecánico del calor, siguiendo el método de JOULE con tanta precisión, que su resultado de 428,2 pudo ser considerado como el más exacto obtenido hasta la fecha.

Después de esto, Rowland se dedicó casi exclusivamente a determinaciones de metrología y entre ellas se destacan sus medidas del ohmio, que realizó para la "Conferencia de los Electricistas" de 1884.

Durante los diez últimos años de su vida, Rowland se ocupó de óptica, siempre con relación a la metrología. Perfeccionó los espectroscopios (2), produjo espectros por redes cóncavas de reflexión o sea haciendo caer la luz por una hendidura sobre un espejo cóncavo provisto de una red de trazos paralelos a la hendidura y logró obtener así un dibujo del espectro solar de 13 metros de longitud con 20.000 rayas. Fué en 1883, que Rowland inventó ese retículo cóncavo que ofrece sobre los retículos planos anteriores, la ventaja de hacer observar el espectro por reflexión o sea sin absorción y sin pérdida de sus rayos infrarrojos y ultravioletas. Las determinaciones metrológicas de la longitud de las ondas que Rowland realizó con sus espectros no eran sin embargo todo lo precisas que se podía esperar, y los resultados obtenidos por MICHELSON, por el método interferencial, ofrecen menos causas de error.

Rowland fué un experimentador excepcional, pero fué acusado de falta de modestia porque tenía una fe excesiva

---

(1) Revue Générale des Sciences, 1903, pág. 524.
(2) GANOT, pág. 526, 538 y 574.

en sus propias determinaciones y no sólo defendía con vehemencia sus propios resultados sino que se rehusaba siempre a aceptar los valores conciliatorios obtenidos por la media aritmética de los resultados dados por los demás sabios.

GAULARD
(1850-1888)

Transformador.

LUCIANO GAULARD, mecánico francés, nació en 1850 y murió en París en 1888.

Realizó numerosos inventos de poca importancia para la ciencia, pero tiene el gran mérito de haber construído el primer transformador eléctrico.

El mundo sabio se dió cuenta de la importancia práctica de este invento y Gaulard recibió el Gran Premio de la Exposición de Electricidad de Turín en 1884, la ayuda científica de los sabios y el apoyo material de varios capitalistas.

Pero Gaulard, que supo vencer todas las dificultades de orden científico para realizar su invento, fué vencido por la lucha enervante que tuvo que sostener contra los eternos enemigos del inventor: los imitadores, los que reivindican sin razón derechos al invento, los que le niegan sistemáticamente toda importancia, todas las envidias, en fin, que el mérito despierta; y el joven inventor murió en un manicomio a los treinta y ocho años.

La primera idea del transformador, como consecuencia directa del descubrimiento de la inducción por FARADAY, se encontraba ya en la obra de HENRY, poco después de dicho descubrimiento. Luego MASSON y BREGUET, en 1840, y más tarde con la forma definitiva del carrete de inducción (carrete RUHMKORFF) también construyeron transformadores. Pero Gaulard fué el realizador del transformador corriente de tipo industrial.

RIGHI (1)
(1850-1920)

Teoría del contacto de VOLTA. Crítica explicación de FRESNEL de la polarización rotatoria. Estudio de los rayos catódicos e hipótesis de CROOKES y de GIESE. Efecto de HERTZ. Fenómeno de HALL. Efecto de Righi. Oscilador y resonador. Ondas hertzianas. Fenómeno de ZEEMAN. Rayos X. Influencia del campo magnético sobre fenómenos eléctricos. Experiencia de MICHELSON.

AUGUSTO RIGHI nació en Bolonia en 1850 y murió en la misma ciudad en 1920.

Estudió y realizó su importante obra en su ciudad natal y puede decirse que pasó toda su vida en la Universidad de Bolonia. Escribió sus primeras memorias, hacia 1870, siendo profesor ayudante en esa Universidad y, cuando murió, medio siglo más tarde, era profesor de física experimental en la misma y director de su Instituto de Física.

Desde la infancia, Righi demostró tener una verdadera pasión por las ciencias experimentales y este entusiasmo no hizo sino acrecentarse con los años, traduciéndose en una vastísima obra en que abundan los experimentos más variados y originales.

Entre sus primeros estudios se destacan: en 1872, una defensa de la teoría del contacto de VOLTA; en 1877, una crítica de la explicación de FRESNEL de la polarización rotatoria; en 1878, un estudio de la diferencia de velocidad de las dos vibraciones circulares en que se descompone el rayo polarizado en la polarización rotatoria magnética de FARADAY (2).

A pesar de haber escrito numerosas memorias acerca de los temas más variados de la física, es indiscutiblemente la electricidad la que interesó mayormente a Righi.

---

(1) "L'œuvre scientifique de Righi", por LAVORO AMADUZZI. Revue Scientifique, 1920, pág. 524.

(2) PITONI, Storia della Fisica, pág. 276, 296-346.

Los descubrimientos de CROOKES, de HERTZ, de ROENTGEN, de HALL y de ZEEMAN fueron para él otros tantos puntos de partida de series de importantes estudios.

Righi fué uno de los primeros en adoptar los puntos de vista de CROOKES acerca de los rayos catódicos; sostuvo, como J. J. THOMSON, las ideas de GIESE, que consistían en considerar los rayos catódicos como un fenómeno electrolítico en los gases; y fué así uno de los primeros sabios que se ocuparon de la ionización de los gases (1881). (1)

Estudió el "efecto de HERTZ" en los gases rarificados, observando su ionización por choque, y demostró que bajo la acción de rayos ultraviolados los cuerpos conductores o dieléctricos se cargan positivamente. (2)

Cuando Righi tuvo conocimiento del descubrimiento del "fenómeno de HALL" (3) realizó sobre esta cuestión un gran número de estudios que aumentaron enormemente su importancia científica. Descubrió primero que el bismuto presenta este fenómeno con mayor intensidad y pudo hacer así observaciones más claras. Descubrió el "efecto Righi" o sea el fenómeno térmico idéntico al "fenómeno de HALL".

Los célebres experimentos de HERTZ (4) fueron también para Righi una fuente fecunda de nuevas investigaciones. Imaginó un sinnúmero de dispositivos originales para variar las condiciones experimentales, e imaginó así su célebre oscilador de tres chispas y su resonador de vidrio plateado. (5)

---

(1) Véase la biografía de CROOKES.

(2) GUILLEMINOT, t. II, pág. 305.

(3) EDUINO ERBERTO HALL (Gorham, Estados Unidos, 1855), fué profesor de física en Baltimore y en Cambridge.

Observó, en 1880, que en una lámina metálica recorrida por una corriente y colocada perpendicularmente a las líneas de fuerza de un campo magnético, se efectúa una desviación de las líneas equipotenciales. Es el "fenómeno de Hall" que se ha explicado por la termoelectricidad y la acción mecánica del electroimán. (Véase, WATSON, pág. 681).

(4) Véase la biografía de HERTZ.

(5) Véase MARCONI.

Righi, como LEBEDEFF y LAMPA, se ocupó del acercamiento de las ondas hertzianas a las ondas luminosas con el acortamiento de su longitud (1) y obtuvo ondas de algunos milímetros con las cuales pudo reproducir el experimento de las interferencias con los espejos de FRESNEL y el de los anillos coloreados de NEWTON con una lámina de parafina. (2)

Dichos experimentos de Righi sobre las ondas hertzianas tienen además un especial valor histórico por haber sido los que inspiraron a MARCONI (véase), discípulo de Righi en la Universidad de Bolonia. Es de notarse, sin embargo, que MARCONI, quien atribuyó en un principio tanta importancia al oscilador de Righi, considerándolo elemento fundamental de su invento, dióse cuenta, más tarde, de que no era tan imprescindible como lo creyera el uso de dicho dispositivo.

Esos estudios de Righi sobre la propagación de las ondas hertzianas están condensados en su célebre obra "La Optica de las Oscilaciones Eléctricas".

Poco tiempo después de esta serie de trabajos, Righi se detuvo en el estudio del "fenómeno de ZEEMAN" y de los rayos X y luego se dedicó casi exclusivamente a la investigación metódica de los efectos del campo magnético sobre los fenómenos eléctricos.

En su obra "Los Fenómenos Electroatómicos bajo la Acción del Magnetismo", estudió la acción del campo magnético sobre la marcha de los iones y de los electrones. Allí emitió la hipótesis de que el campo magnético se ejerce de modo que sus fuerzas tiendan a alejar al electrón del átomo, en la ionización por choque.

La teoría de la relatividad, en fin, ha interesado también a Righi durante los últimos años de su vida y se recuerda particularmente su tentativa de explicación del resul-

(1) Véase la biografía de HERTZ.
(2) GUILLEMINOT, t. II, pág. 158.

tado negativo del experimento de MICHELSON, por medio del principio de HUYGHENS y sin necesidad de hipótesis nuevas.

ENRIQUE BECQUEREL
(1852-1908)

Rotación del plano de polarización. La radioactividad. Dispersión anómala.

ANTONIO ENRIQUE BECQUEREL era hijo de ALEJANDRO EDMUNDO (1820-1891), nieto de ANTONIO CESAR (1788-1878) y padre de JUAN BECQUEREL, siendo, los cuatro, físicos de verdadero renombre.

Después de brillantes estudios en la Escuela Politécnica y luego en la Escuela de Puentes y Caminos, recibió el título de ingeniero en el año 1877, haciéndose notar de inmediato por varios trabajos científicos originales. Fué nombrado profesor de física en el Museo de Historia Natural y en la Escuela Politécnica, puestos que habían desempeñado antes que él su padre y su abuelo y en los cuales debía ser reemplazado por su propio hijo. En 1889, ingresó en la Academia de Ciencias de la que fué presidente y secretario perpetuo.

Enrique Becquerel fué un extraordinario experimentador que se distinguió siempre por el ingenio gracias al cual lograba realizar experiencias delicadísimas con materiales sencillos y, muchas veces, improvisados.

En 1896, cuando tenía cuarenta y cuatro años, hizo el maravilloso descubrimiento de la radioactividad, al cual debió su mayor celebridad y que fué también causa de su muerte pues ésta se debió a las consecuencias de quemaduras de radio que se hiciera en el curso de una gira de conferencias científicas en Holanda.

Pero, antes de este descubrimiento trascendental, Becquerel había realizado ya una obra científica considerable.

Siempre orientó sus investigaciones hacia el conocimiento de la íntima constitución de la materia y especialmente de la influencia de esta constitución sobre los fenómenos ópticos y magnéticos.

En 1878, en uno de sus primeros trabajos, estudió la rotación del plano de polarización bajo la influencia del campo magnético y descubrió fenómenos de polarización rotatoria provocados por el magnetismo terrestre. En ese estudio Becquerel se fundó en la hipótesis de FRESNEL del arrastre del éter por los cuerpos, hipótesis que él mismo trató de comprobar. Llegó así a establecer la ley que lleva su nombre y que expresa la relación entre la rotación del plano (R) y el índice de refracción (n) del medio que atraviesa la luz, ley que queda expresada por la fórmula siguiente:

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = \text{constante (0.2 aprox.)}$$

Hemos visto que EDMUNDO BECQUEREL, padre de Enrique, hizo un profundo estudio del diamagnetismo y emitió hipótesis poco apreciadas en su época, pero recogidas por los físicos del siglo XX. Enrique Becquerel se preocupó en defender esas hipótesis de su padre.

En 1896, realizó su gran descubrimiento de la radioactividad. Continuando estudios sobre fosforescencia iniciados por su padre e incitado además a proseguir las investigaciones en ese sentido por el descubrimiento de ROENTGEN (1895) y por una observación de POINCARE (1896), quien suponía la posibilidad de una emisión de rayos X de todo cuerpo flucrescente (véase CURIE), Enrique Becquerel se dedicó especialmente a la observación de la acción fotográfica de la fluorescencia y de la fosforescencia.

La observación de POINCARE fué hecha en enero de 1896. El 24 de febrero del mismo año, Becquerel comunicó el descubrimiento siguiente: Un cristal de sulfato de uranio colocado sobre el cartón que envuelve una placa fotográfica y puesto en la luz del sol impresiona la placa. Pocos días después (el 2 de marzo), Becquerel descubrió

que ya no se trataba de un fenómeno de fosforescencia, pues demostró que no era necesaria la influencia de los rayos solares y, más tarde, observó que la espontánea irradiación de la sal de uranio destruye cargas eléctricas positivas y negativas e ioniza el aire. Las palabras textuales de Becquerel fueron las siguientes: "Las mismas láminas cristalinas mantenidas en la oscuridad producen aún las mismas impresiones fotográficas. He aquí como llegué a esta observación: Entre los experimentos precedentes, algunos habían sido preparados el miércoles 26 y el jueves 27 de febrero y como, aquellos días, el sol no había salido sino en forma intermitente, había conservado las experiencias ya preparadas y colocado la placa en el cajón de un mueble dejando en su lugar las láminas de sales de uranio. Como el sol no saliera tampoco en los días siguientes, resolví revelar las placas fotográficas el 1º de marzo creyendo encontrar imágenes sumamente débiles. Las siluetas aparecieron, por el contrario, con gran intensidad". Eran esos los "rayos uránicos", los "rayos Becquerel", que este sabio consideraba como una "fosforescencia invisible". Es este el fenómeno que la señora CURIE y su esposo PEDRO CURIE se dedicaron a investigar con los hermosos resultados que expondremos más adelante (véase CURIE).

En 1898, Becquerel se ocupó de la dispersión anómala de las rayas D_1 y D_2 del espectro del sodio. La dispersión anómala era en esa época un estudio reciente pues fué descubierta por LE ROUX, en 1862, en los vapores de iodo, descubrimiento que quedó casi ignorado hasta que el físico dinamarqués CHRISTIANSEN (Laenberg 1842-?) volviera a descubrir la dispersión anómala en la solución alcohólica de fucsina, en 1870 y 1871, que SELLMEYER diera su teoría en 1872, y que KUNDT la observara en muchas sustancias y estableciera su relación con la absorción de los rayos en 1880. En 1893, HELMOLTZ buscó la explicación electromagnética de la dispersión anómala (1).

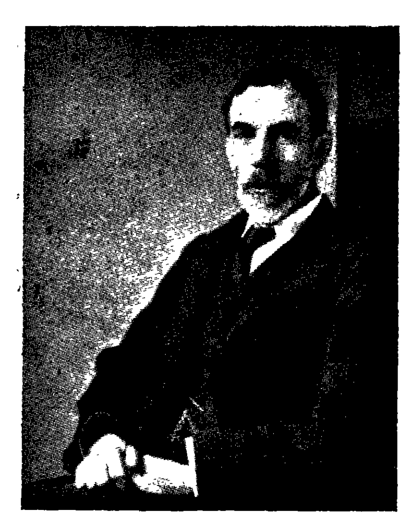
(1) CHWOLSON, t. IV, pág. 169-180.

RAMSAY
(1852-1916)

Trasmutación de la materia.

GUILLERMO RAMSAY, célebre químico británico, nació en Glasgow en 1852 y murió en Londres en 1916.

Pertenecía a una familia de químicos que había contado a varios sabios de mérito entre sus miembros y entre ellos se recuerda especialmente al célebre químico y geólogo CROMBIE RAMSAY (1814-1891), tío de Guillermo.



RAMSAY

Ramsay realizó sus estudios en su ciudad natal, luego visitó Alemania, donde trabajó en los laboratorios de BUNSEN en Heidelberg y de FITTIG en Tubinga.

De vuelta a su patria, fué nombrado profesor ayudante en Glasgow, luego en Bristol (1880) y, al fin, profesor en el University College de Londres (1887), de donde se retiró después de veintiseis años de labor (1913) para dedicarse exclusivamente a trabajos originales.

Ramsay se ocupó primero de química orgánica, luego de física-química. Desde 1894, su nombre se hizo famoso,

pues en esa fecha descubrió, en colaboración con Lord RAYLEIGH, el argón en el aire, y luego, con TRAVERS, el criptón, el neón y el xenón.

En 1903, Ramsay y SODDY, examinando la emanación del radio, que llamaron "nitón", descubrieron que este gas se transforma en helio (1).

En 1908, Ramsay y CAMERON creyeron poder afirmar que el agua sometida al radio produce neón y helio y que, en presencia de una sal de cobre produce argón, mientras que una parte del cobre se cambiaría en litio (2).

Además de estos importantes trabajos que vuelven a poner en discusión la trasmutación de la materia, que tanto preocupó a los alquimistas, Ramsay ha dejado numerosos trabajos de física de valor acerca del calor y de los gases, y es bien conocida su explicación del movimiento browniano (descubierto por ROBERTO BROWN en 1827) como debido a los choques causados por el movimiento molecular con partículas materiales en suspensión.

LORENTZ
(1853-1928)

Teoría de los electrones. Fenómeno de ZEEMAN. El éter inmóvil. Teoría electromagnética de la gravitación. Teoría de la relatividad. La hipótesis de la contracción.

ENRIQUE ANTONIO LORENTZ, físico holandés, nació en Arnheim en 1853 y murió en Haarlem en 1928.

No debe ser confundido con LUIS LORENZ (1829-1891) de Copenhague, quien es recordado por sus estudios de las relaciones existentes entre la conductibilidad eléctrica y la conductibilidad calorífica y por haber encontrado,

---

(1) Revue Générale des Sciences, 1904, pág. 581.

(2) "L'évolution des sciences" por L. HOULLEVIGUE, pág. 37-62. (Véase biografía de CURIE)

simultáneamente con su homónimo holandés en 1880, la "Fórmula Lorenz-Lorentz" (1):

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho} = \text{constante}$$

en que n es el índice de refracción y ρ la densidad de un gas.

E. A. Lorentz fué profesor de la Universidad de Leyden y fué, sin duda, uno de los más grandes sabios de nuestros tiempos. Se ha interesado en muchos puntos de la física, pero la electricidad fué su ciencia preferida y le hizo hacer tan grandes progresos que puede ser considerado como el sucesor de MAXWELL.

La teoría moderna de los electrones (2) se debe en su mayor parte a Lorentz.

Hemos visto que se puede dividir la historia de las teorías de la electricidad en tres períodos: el primero, que corresponde al concepto de dos flúidos eléctricos, se extiende del principio del siglo XVIII (1733) a 1870; el segundo, que es la consecuencia de la obra de MAXWELL y busca la explicación de los fenómenos eléctricos en el éter, se extiende de 1870 a 1900; y el tercero en fin, el período de la teoría electrónica, empezó con el principio de nuestro siglo.

Tal vez podría buscarse bastante lejos la idea de la constitución corpuscular de la electricidad, pero el verdadero punto de partida de la teoría electrónica moderna se encuentra a fines del siglo XIX como teoría atomística de la electricidad en varios autores entre los cuales citaremos especialmente al mismo MAXWELL, WEBER (1875), HITTORF, HELMHOLTZ (1881), KELVIN, ARRHENIUS (1887), ELSTER y GEITEL (1888), GIESE (1889), RICHARZ (1894), STONEY (1894),

(1) CHWOLSON, t. XI, pág. 551; t. IV, pág. 42.

(2) GIBSON, "La ciencia al día"; P. LANGEVIN, "La Physique des électrons". (Rev. Gén. des Sciences, 1905, pág. 257); CHWOLSON, t. XII, pág. 164 y sigts.

quien imaginó el nombre de "electrón", LARMOR y WIECHERT (1896), quienes desarrollaron la teoría física, RIECKE, DRUDE, RUTHERFORD, VOIGT (1), J. THOMSON, LANGEVIN y, sobre todo, Lorentz quien, desde 1880, enunció claramente el concepto del átomo de electricidad.

Tampoco estaría fuera de lugar citar entre todos esos nombres el de FARADAY, pues fueron sus magníficas leyes de la electrólisis las que han demostrado que cada átomo de materia transporta una carga eléctrica determinada y que establecieron así un paralelo entre la estructura atómica de la materia y la de la electricidad.

Todas esas ideas no pudieron imponerse, sin embargo, mientras la teoría de MAXWELL satisfacía las exigencias de la ciencia; pero, cuando a los fenómenos electrolíticos, que nunca se adaptaron a la teoría de MAXWELL, se agregaron los nuevos descubrimientos sobre los rayos catódicos (véase CROOKES), y sus consecuencias, los experimentos de HERTZ sobre el efecto de los rayos ultravioletas sobre cuerpos electrizados, los nuevos fenómenos de óptica magnética y especialmente el que descubrió ZEEMAN (2).

(1) WOLDEMARO VOIGT (Leipzig 1850-1920), célebre físico alemán, estudió en Leipzig y en Koenigsberg y fué profesor en ambas ciudades y en Gotinga. Son numerosísimas las obras de física de las cuales es autor. Su nombre, frecuentemente citado en esta obra, debe ser recordado especialmente por su teoría de la elasticidad (1882) relacionada con la de POISSON y la de CAUCHY, por su estudio de los sonidos adicionales y diferenciales (1890) y con el cual mostró la exactitud de los conceptos largo tiempo considerados antagónicos de HELMHOLTZ (1856) y de KONIG (1876), por su teoría de la electricidad en los cristales, en colaboración con RIECKE (1892) y por su teoría de la luz (1893).

(2) PEDRO ZEEMAN, físico holandés, nació en Zelandia en 1865. Fué alumno de la Universidad de Leyden y, en 1900, fué nombrado catedrático de física de la Universidad de Amsterdam, en la que era profesor adjunto desde varios años atrás.

Zeeman se especializó en el estudio de los fenómenos de óptica magnética. FARADAY trató en vano, en 1862, de demostrar la acción de un campo magnético sobre la luz de una llama; Zeeman dice al respecto: "Es notable que FARADAY no haya alcanzado sino resultados negativos. Pero sus recursos eran muy insuficientes." (Zeeman, L'optique et la théorie des ions. Revue Gén. des Sciences, 1897, pág. 298).

TAIT, en 1865, llegó también a la convicción de que el campo magnético debe ejercer sobre la luz polarizada una influencia observable en su espectro por la duplicación de una raya negra. Zeeman, influenciado por

la teoría electrónica apareció como solución salvadora. Esta solución tenía la ventaja de reunir los dos conceptos anteriores: el concepto antiguo del flúido eléctrico y especialmente tal como lo representaba FRANKLIN (véase) y la base fundamental de la teoría de MAXWELL.

Al principio (1880), Lorentz propuso solamente la teoría matemática de los electrones; pero esta teoría se fué completando y adquirió sobre todo nuevas imágenes físicas de los electrones, llegándose a la conclusión de que no puede haber materia sin electricidad, y aun que la materia no es sino electricidad.

Lorentz en sus primeros trabajos no empleaba tampoco la palabra "electrón" sino la de "ión", pero dándole el significado del electrón de la teoría moderna. Fué STONEY quien utilizó por primera vez, en 1891, el término de "electrón" sin que sus conceptos signifiquen, sin embargo, un progreso en este sentido, pues se limitaba a repetir las valiosas ideas de WEBER acerca del átomo de electricidad.

J. J. THOMSON, el fundador de la escuela electrónica de Cambridge, representó el átomo de materia como un núcleo de electricidad positiva, en que se mueven los elec-

---

consideraciones teóricas de las obras de MAXWELL y de KELVIN, pensó, pues, que los resultados negativos de FARADAY no podían ser considerados como definitivos y solicitó la opinión de LORENTZ, quien le explicó que, si su propia teoría de los electrones era aplicable al caso, debía existir una influencia del campo magnético sobre el espectro. Zeeman realizó entonces (1896) los experimentos necesarios y descubrió el célebre "fenómeno de Zeeman" o sea que: el espectro del sodio sometido al campo magnético ensancha las dos rayas D. Zeeman comprobó además, como lo había previsto LORENTZ, que la luz de las rayas ensanchadas es circularmente polarizada en la dirección de las líneas del campo magnético y que la magnitud de ese ensanchamiento permite determinar la relación entre la carga eléctrica del electrón y su masa. Cuando el campo magnético y la dispersión son suficientemente intensos, como lo obtenían CORNU y MICHELSON con dispositivos especiales, la raya D. se divide en cuatro y la D_2 en seis, y entonces, en cada caso, las dos rayas centrales son polarizadas perpendicularmente a las líneas de fuerza y las marginales paralelamente. Este fenómeno se explica en la teoría de los electrones como una influencia del campo magnético sobre el período de vibración de los electrones, vibración a la cual esta teoría atribuye la luz. (A. BROCA, Les variations de période des raies spectrales. Rev. Gén. des Sciences, 1897, pág. 935; Física de WATSON, pág. 843; HOPPE, Hist. de la Phys., pág. 641).

trones negativos. En su obra empleó también, como Lorentz, la palabra ión en lugar de electrón.

Lorentz y LARMOR suponen un centro positivo alrededor del cual giran los electrones (negativos).

Hemos visto que KELVIN se figuraba el átomo como una esfera con electricidad positiva en que los electrones formarían capas concéntricas, que recordarían la estructura de una cebolla.

Pero la hipotética imagen de la estructura de los átomos materiales no es el único problema que admite múltiples soluciones en la teoría electrónica; también queda por resolver si existen átomos de electricidad positiva libres o si sólo son libres los electrones, lo que correspondería a creer, como lo hacía FRANKLIN, aunque en sentido inverso, que la electricización positiva corresponde a una pérdida de electricidad negativa (una liberación de electrones).

Se han imaginado métodos de medida directa de la carga de un electrón y entre ellos se destacan el método de J. J. THOMSON (1900), el de H. A. WILSON (1903) y el más moderno y preciso de MILLIKAN (1) (1910), cuyas descripciones se encuentran en los textos y que puede exponerse en principio de la manera siguiente: Una gota de aceite de $\frac{1}{100}$ mm. de diámetro aproximadamente se mantiene en suspenso en el aire colocando, encima y debajo de ella, láminas metálicas fuertemente electrizadas. Se electriza la ínfima gota haciendo caer en ella, por una hendidura en una pantalla de plomo, un haz de rayos X y cada vez que la gotita de aceite se apodera o se desprende de un electrón hace rápidos movimientos. En virtud de todas esas determinaciones se ha podido establecer, con un cálculo sencillo, la velocidad de los electrones.

La base de las investigaciones de Lorentz sobre electrones se encuentra en su trabajo de 1895 "Investigación acerca de una Teoría de Efectos Opticos y Eléctricos en Cuerpos en Movimiento", y su teoría arranca directamente

---

(1) ROBERTO A. MILLIKAN (Morrison, Illinois, 1868), físico americano, profesor en la Universidad de Chicago, perfeccionó sus estudios en Alemania.

del problema de la movilidad o inmovilidad del éter. (Recordamos que, como lo hemos visto en varias oportunidades, YOUNG (1804) y FRESNEL (1818) defendían la hipótesis de la inmovilidad, y STOKES (1845) la de la movilidad).

La teoría electrónica fué extendida a todos los fenómenos eléctricos y sus consecuencias se introdujeron en óptica, en el calor radiante y provocaron una revolución hasta en la clásica mecánica newtoniana con conceptos que sirvieron de base a la célebre teoría de la relatividad que inmortaliza a EINSTEIN (1).

Es así que Lorentz dió, en 1900, una teoría electromagnética de la gravitación basada en una idea de MOSSOTTI (véase) y de acuerdo con la teoría de los electrones. Citaremos sus propias palabras:

"Ese físico (MOSSOTTI) se había representado la materia como consistente en electricidad positiva y negativa y había mirado la gravitación como una fuerza residual que proviene de una ligera diferencia entre las atracciones de las electricidades opuestas contenidas en dos cuerpos y las repulsiones de las electricidades del mismo nombre. Yo no tenía más que adaptar este modo de ver a la teoría

---

(1) ALBERTO EINSTEIN. No podemos pensar en sintetizar en esta obra la teoría de la relatividad de Einstein, en primer lugar por habernos fijado el año 1900 como límite de esta Historia y además porque, para alcanzar una simple comprensión elemental de sus orígenes y de sus resultados y consecuencias — sin pretender tampoco seguir el desarrollo de la teoría, ni mucho menos aún penetrar sus razonamientos matemáticos — se necesita estudiar detenidamente una larga exposición especial. No es atrevido afirmar que todos los autores que han pretendido resumir la teoría en pocas líneas, no han hecho sino desfigurarla y provocar en los lectores conceptos equivocados. Existen, sin embargo, numerosas versiones elementales de la teoría que se limitan a exponer sus orígenes, sus resultados concretos y sus consecuencias, con mucha claridad. Citarlos sería reproducir un verdadero catálogo, pero entre las obras ya citadas en este libro destacaremos "La théorie d'Einstein" por J. BECQUEREL, "Los fundamentos de la Teoría de la Gravitación de Einstein" por FREUNDLICH, "Cuatro Conferencias sobre Relatividad" por Einstein, el capítulo sobre "Ideas de Einstein" en CHWOLSON, t. XII, págs. 216-242 y un "Bosquejo de la teoría de la relatividad" en la física de WATSON, pág. 867-886, así como numerosos artículos en las revistas de estos últimos años.

Alberto Einstein es alemán, de padres wurtemburgueses, que fueron dueños de una fábrica electrotécnica en Munich. Estudió en Ulm y en Mu-

moderna de la electricidad bajo la forma que ha tomado en la teoría de los electrones".

En las ecuaciones de esta teoría, Lorentz introdujo factores formados por la relación entre la velocidad de los electrones y la velocidad de la luz, pues: "Cuando dos electrones están en reposo, su acción mutua es dada por la ley de COULOMB, pero cuando se mueven se produce un cambio debido a dos causas: 1º Como la propagación exige un cierto tiempo, la acción ejercida por el éter sobre el segundo electrón en un momento determinado no depende de la posición que el primer electrón ocupa en este momento sino de su posición un poco antes. 2º El primer electrón que se desplaza produce en el espacio ambiente, no sólo un campo eléctrico sino también un campo magnético (experimento de ROWLAND). Expuesto a este campo magnético, el segundo electrón experimentaría una fuerza proporcional a su velocidad" (1).

Este cálculo hecho sobre electrones y que es la consecuencia de un largo estudio de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, generalizado a su teoría de la gravitación, hizo obtener por Lorentz reglas de atracción distintas de las de NEWTON, a causa de la introducción de los factores a los cuales nos hemos referido. Esas fórmulas de Lorentz no modificaban de un modo apreciable los

---

nich, pero hizo sus estudios superiores en el Politécnico de Zurich y se estableció en Suiza, país del cual se hizo ciudadano. Es allí que creó su célebre teoría y en mérito a ello fué nombrado profesor en la Escuela Superior de Berna, y luego enseñó en Zurich de 1909 a 1914, con una interrupción de un año (1911) que pasó en la Universidad de Praga. En 1914, Einstein, ya glorioso, fué nombrado director del Instituto de Física y miembro de la Academia de Ciencias de Berlín, por el emperador Guillermo II. Fué expulsado de Alemania por el gobierno de Hitler y ha dictado cursos en varios países.

Sus primeros trabajos sobre relatividad fueron publicados en 1901; su primera teoría o teoría "especial" o "restringida" es de 1905; su teoría "ancha" o "generalizada" de 1913 y, en fin, como tercera etapa, su teoría del "campo unitario" es de 1928. Sólo en la primera teoría intervinieron LORENTZ y MINKOWSKI; las otras dos pertenecen por completo a Einstein.

La teoría de los quanta de PLANCK y las teorías de Einstein son las grandes "revoluciones" científicas con las cuales se inició el siglo XX, época que escapa a los límites de esta obra.

(1) H. A. LORENTZ, La gravitación (Scientia, 1914).

cálculos astronómicos exactos de NEWTON y rectificaban, aunque sólo 1|10 de lo necesario, el error de la ley de NEWTON con respecto a Mercurio.

"Pero", agrega Lorentz, "he reconocido que no se podía dar importancia a este resultado y que mi teoría, aunque demuestra que se puede admitir para la gravitación la velocidad de propagación de la luz, era muy defectuosa". "En efecto, en los años que siguieron, las teorías electromagnéticas continuaron desarrollándose y llegaron al principio de la relatividad enunciado por EINSTEIN, en 1906. Mi teoría de la gravitación no se conformaba con este principio, cuya importancia es incontestable: 1º) porque hacía intervenir el movimiento relativo del planeta con relación al Sol y el movimiento de todo el sistema planetario con relación al éter. 2º) porque no había tenido en cuenta las modificaciones de los principios de la mecánica que el nuevo principio contiene. Mi teoría debía ser pues abandonada; era mucho mejor probar una teoría relativista".

Aquí vemos a Lorentz como precursor de la famosa teoría de la relatividad de EINSTEIN, que tanto preocupa el mundo científico desde varios años atrás.

Las fórmulas de la mecánica clásica de GALILEO-NEWTON no son más que aproximadas, pero están comprobadas para todos los fenómenos en los cuales la velocidad de los cuerpos con relación a la velocidad de la luz es muy pequeña, pues entonces los factores introducidos por Lorentz se vuelven despreciables.

Estas nuevas fórmulas o "transformaciones" eran necesarias, pues son comunes a la mecánica y a la electrodinámica, mientras que las transformaciones de GALILEO-NEWTON no explicaban los experimentos de FIZEAU (1851) y de MICHELSON (1887).

El experimento de FIZEAU (1) tenía como fin la comprobación de la afirmación de FRESNEL que el éter es arrastrado por los cuerpos refringentes con una velocidad:

---

(1) Física de WATSON, pág. 868; CHWOLSON, t. III, pág. 329; biografía de FIZEAU.

$$u = \frac{n^2 - 1}{n^2} v$$

siendo (n) el índice de refracción del cuerpo y (v) su velocidad. El aparato de FIZEAU consistía esencialmente en un largo tubo dividido longitudinalmente en dos partes iguales por un tabique. Hacía circular en estas reparticiones agua a alta presión, en sentidos opuestos, y se observaban interferencias en el extremo del tubo, que demostraban, según él, que la velocidad de la luz era mayor en el agua que seguía en el mismo sentido, que en el agua con sentido opuesto.

MICHELSON (1), quien comprobó el experimento de FIZEAU en 1878, trató repetidas veces de demostrar experimentalmente que para un observador la velocidad de la luz debe aparecer mayor en el sentido opuesto al movimiento terrestre que en la dirección normal a este movimiento (2), como lo había pensado ya MAXWELL; pero, por minuciosas que fueran las observaciones que realizó, solo en 1881, con MORLEY en 1885 y con MILLER en 1905, no pudo observar ninguna interferencia y los experimentos fueron por consiguiente negativos.

De este fracaso sólo podía deducirse o que el éter no existe o que es móvil, o lo que imaginó Lorentz. Este sabio desde 1894 se ocupó sin descanso de esta interesante cuestión; repitió, en 1902, los experimentos de MICHELSON y trató de conciliar los resultados con el concepto del éter inmóvil.

ZEEMAN ya había considerado que el experimento de FIZEAU no comprueba la hipótesis de FRESNEL del

---

(1) ALBERTO A. MICHELSON (Strelno, provincia de Posen, 1852-California 1930), físico alemán establecido en Norte América, donde fué oficial de marina, enseñó física en Annapolis, New York y Wáshington, Cleveland, Worcester y Chicago. Se ocupó principalmente de óptica, determinó la longitud del metro tipo por la longitud de onda luminosa (CHWOLSON, t. IV, pág. 425); inventó el interferómetro que lleva su nombre y aplicó las interferencias a la determinación del alargamiento por tracción (CHWOLSON, t. II, pág. 365).

(2) CHWOLSON, t. III, pág. 329; t. XII, pág. 210; Física de WATSON, pág. 869.

arrastre del éter por los cuerpos refringentes, pues puede confirmar la hipótesis de la inmovilidad del éter con el movimiento del cuerpo refringente.

HERTZ había querido explicar los fenómenos electrodinámicos en los cuerpos en movimiento, agregando a la teoría de MAXWELL la hipótesis de la movilidad del éter, vehículo del campo electromagnético, y le hacía seguir todos los movimientos de la materia. Pero HERTZ debió abandonar esta idea pues estaba en contradicción con la experiencia, y muy especialmente con la aberración de la luz y la experiencia de FIZEAU, en óptica, y con la experiencia de ROWLAND, en electromagnetismo.

Lorentz volvió pues a la hipótesis del éter inmóvil y rígido, que atraviesa todos los cuerpos, y, para poder conciliarla con el resultado negativo del experimento de MICHELSON, imaginó una hipótesis nueva. Supuso que lo que motiva la imposibilidad de observar interferencias causadas por diferenciación y sentido opuesto al movimiento de la Tierra es una contracción, en dicho sentido, de los instrumentos de medida y una disminución del tiempo. Esperando la resistencia que debía provocar naturalmente ese atrevido concepto, Lorentz agregó: "El físico no se admirará de esta contracción, pues si ha aprendido que las acciones electromagnéticas se propagan en el éter, estará preparado para admitir lo mismo para las fuerzas moleculares. Pensará que estas fuerzas pueden ser modificadas por una traslación del sistema si el éter no toma parte en ella. Esto podría muy bien producir un acortamiento de una barra o influir sobre la elasticidad del resorte de un péndulo y cambiar así la marcha de un cronómetro."

Lorentz consideraba pues, que, en el experimento de MICHELSON, el movimiento de la Tierra modifica realmente la velocidad de la luz, pero agregaba que el observador no puede darse cuenta de esa modificación porque sus instrumentos la compensan con una contracción igual. Por consiguiente, establecía que sólo nos es dable observar y medir el movimiento relativo de un cuerpo con relación a otro, ya que el éter inmóvil no puede servirnos de punto

de referencia: es el principio de la relatividad. Lorentz estableció el valor del coeficiente de contracción o sea "el factor de Lorentz".

$$\lambda = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Es decir que el coeficiente de contracción es igual a la raíz cuadrada de la diferencia entre la unidad y el cuadrado de la relación entre la velocidad del cuerpo y la velocidad de la luz.

De esta fórmula se deduce otro importante concepto de Lorentz, adoptado por EINSTEIN: la velocidad de la luz es velocidad límite, pues para cualquier cantidad de $v > c$, la cantidad bajo el radical se volvería negativa.

La hipótesis de Lorentz de la contracción fué emitida simultáneamente por el irlandés FITZ GERALD. (1) LARMOR (2) quiso completar esta hipótesis explicando el mecanismo de la contracción que Lorentz y FITZ GERALD atribuyen al éter sin dar explicaciones; pero complicó así la hipótesis y la volvió menos probable.

EINSTEIN generalizó el principio de la relatividad a todos los fenómenos de la física, y tomó como base las transformaciones de Lorentz de las que se deduce, no como hipótesis, sino como consecuencia, la fórmula del acortamiento, la que se aplica, como lo hizo Lorentz, tanto al espacio como al tiempo (tiempo local).

Lorentz debe ser considerado, pues, como el inspirador y el precursor directo de EINSTEIN, que ha revolucionado las ciencias físico-matemáticas y que muchos no vacilan en llamar el "Newton de nuestro siglo".

---

(1) JORGE F. FITZ GERALD (Dublín 1851-1901), físico irlandés, miembro de la Sociedad Real de Londres, profesor de la Universidad de Dublín y secretario de su Sociedad Real. Hizo un profundo estudio de la vida y obra de HELMHOLTZ y de KELVIN.

(2) JOSE LARMOR (Antrim, Irlanda, 1857), matemático y físico irlandés, fué profesor de la Universidad de Cambridge, secretario de la Sociedad Real de Londres, representante de la Universidad de Cambridge en el Parlamento. Entre sus obras recordaremos: "Eter y materia" (1900) y "Teoría dinámica del medio eléctrico y luminoso" (1894).

MAX ABRAHAM (1) resume así la unión entre Lorentz y EINSTEIN: "Los resultados de Lorentz y EINSTEIN no difieren sino en cuanto a su origen; EINSTEIN establece como causa el principio de la relatividad, Lorentz lo considera consecuencia de la teoría del campo magnético asociada a la hipótesis de la constitución eléctrica de la materia."

Entre otros trabajos importantes de Lorentz deben citarse sus estudios sobre el "fenómeno de HALL" (1880), que consiste en demostrar que la acción del campo magnético no es sólo la desviación de un cuerpo con corriente sino la desviación de la electricidad pura o sea desligada de la materia.

HERTZ (2)
(1857-1894)

Extracorriente. Descargas eléctricas en los gases. Defensa de la teoría de MAXWELL. Ondas hertzianas. Efecto fotoeléctrico de HERTZ. Velocidad de propagación de la acción eléctrica. Teoría del choque. Principios de la mecánica.

ENRIQUE HERTZ nació en Hamburgo en 1857 y murió en Bonn en 1894. Era el hijo mayor de un jurisconsulto y político alemán. Su corta vida no ofrece al biógrafo ningún incidente digno de especial mención, fuera de sus grandes obras científicas. Hasta 1878, Hertz cursó normalmente sus estudios de ingeniero y, en 1879, después de haber obtenido un premio en la Facultad de Filosofía de Berlín por una memoria acerca de la extracorriente, renunció a

(1) MAX ABRAHAM: "La Nouvelle Mécanique", Scientia, 1914.
(2) "La vida y los trabajos de HERTZ", por HELMHOLTZ (Revue Générale des Sciences, 1905, pág. 1024). "Las Grandes Etapas de la Radio", J. GUINCHART, Dunod, París, 1925.

su profesión de ingeniero para dedicarse a la física. En 1880, recibió el título de doctor en filosofía, después de haberse destacado como estudiante y haberse hecho apreciar por sus profesores, entre los cuales figuraban KIRCHHOFF y HELMHOLTZ. Este último sabio llamó a Hertz como ayudante a su laboratorio, en el cual éste permaneció hasta 1883, año en que pasó a la Universidad de Kiel como pro-



HERTZ

fesor libre (1883-1887); luego fué durante un año profesor de la Universidad de Karlsruhe y pasó en fin a la de Bonn donde reemplazó a CLAUSIUS, quien se retiraba a un merecido descanso. Hertz ocupó este cargo hasta su prematura muerte, en 1894, año en que también falleció su maestro HELMHOLTZ.

Todos sabemos que Hertz merece ser citado entre los principales creadores de la telegrafía sin hilos por su maravilloso descubrimiento de las "ondas hertzianas" que realizó en Bonn en sus inmortales experimentos de 1888; pero

con reconocerle sólo esta gloria se comete con Hertz una verdadera injusticia. Es que Hertz no ha sido un descubridor afortunado; ha sido un teórico profundo, un analítico minucioso, un matemático erudito que, basándose en teorías geniales, dirigió sus experimentos hacia la comprobación del fenómeno que sus razonamientos habían "creado". No es exagerado decir, pues, que Hertz "creó" las ondas eléctricas, pues conocía su existencia antes de realizar los experimentos decisivos de 1888.

A pesar de que la carrera científica de Hertz apenas abarca unos quince años, su profundo y trascendental estudio de las ondas eléctricas que lo colocan en el mismo plano que sus grandes predecesores FARADAY y MAXWELL, no es más que una parte de un vasto estudio de la electricidad, al que deben agregarse sus estudios sobre la evaporación, sobre la tensión del vapor (1), sobre la elasticidad y la cohesión, sobre el choque, y su célebre "Mecánica", para no citar más que los puntos principales de su intensa obra.

Sus experimentos de 1888 tuvieron una resonancia extraordinaria: las revistas y los diarios publicaron durante muchos meses artículos de vulgarización sobre este descubrimiento sensacional; los sabios de todos los países emitieron sus críticas o sus aprobaciones a la teoría del joven sabio alemán; la Academia de Ciencias de París le discernió el premio Lacaze; y, sin embargo, la modestia de Hertz permaneció inalterable. C. E. GUILLAUME (2) escribía en 1890:

> "Hagamos justicia al carácter de Hertz; pocas
> " personas son menos hertzianas que él mismo, y es con
> " una perfecta modestia que atribuye a MAXWELL
> " y a FARADAY todo el honor de las teorías de las
> " cuales sus experimentos no han dado, según él, más
> " que una demostración popular." (3)

(1) CHWOLSON, t. VIII, pág. 42.

(2) CARLOS E. GUILLAUME (Fleurier 1861), físico suizo, corresponsal de la Academia de Ciencias, Director de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, ganador del premio Nobel de 1920.

(3) Revue Générale des Sciences, 1890.

Señalaremos aquí la obra sobre electricidad de Hertz, en su orden cronológico. (1)

Hemos dicho que en 1879, o sea a los veintidós años, Hertz ganó un premio por una memoria sobre la "extracorriente", que marca el principio de su carrera científica. En esa memoria el joven sabio demostraba con experimentos minuciosos y una teoría matemática irreprochable, que cuanto más precisos eran los experimentos menor se volvía el valor que se podría atribuir a la energía cinética de la corriente, y que, por consiguiente, era lógico suponer que con experimentos perfectos se llegaría a demostrar que la masa del "flúido eléctrico" debía ser considerada como nula

En la electrólisis, al contrario, dice Hertz, esta energía cinética puede manifestarse, pues en este caso, las masas eléctricas van acompañadas por masas materiales: los iones.

En 1880, en su tesis de doctorado, estudió la inducción en una esfera conductora que gira entre imanes y basó su estudio en la teoría de NEUMANN.

En 1881, en un trabajo "Sobre la Distribución de la Electricidad en la Superficie de un Conductor en Movimiento", Hertz demuestra haber renunciado por completo a las explicaciones usuales de la electricidad material y a la creencia en la "acción a distancia".

En 1883, se ocupó especialmente de las descargas eléctricas en los gases y estudió el poder aislador de la bencina.

En 1884, publicó su importante memoria "Sobre las Relaciones entre las Ecuaciones Fundamentales de MAXWELL y las Ecuaciones de la Electrodinámica", en que se declaró por primera vez decidido partidario de la teoría de MAXWELL; pero no se adhirió a ella atraído por su magnífica generalización, que consiste en comprender a la óptica en el electromagnetismo, sino demostrando que si se llenan las lagunas de las ecuaciones de la electrodinámica admitida, se llega forzosamente a las ecuaciones fun-

(1) EBERT, "La obra de HERTZ". Rev. Génér. des Sciences, 1894, pág. 741-748

damentales de la teoría de MAXWELL. Es en esa memoria, que puede ser considerada como su mejor producción teórica, que Hertz reduce toda la teoría de MAXWELL a su célebre sistema de seis ecuaciones. (Véase MAXWELL).

Hertz el teórico ya estaba satisfecho; pero el experimentador que en él se hizo conocer desde su primera memoria de 1879, aspiraba a la demostración práctica de las consecuencias de la teoría de MAXWELL o, como dijo, a su "demostración popular". El problema era, pues, inventar un dispositivo que permitiera demostrar experimentalmente que, como lo afirmaba MAXWELL, las perturbaciones eléctricas se propagan en ondas que tienen la velocidad de la luz.

Los nombres de varios sabios deben figurar aquí como precursores de Hertz en estas investigaciones, y su lista es probablemente incompleta (1): HENRY (1824) observó que pequeñas chispas se producen en un circuito cada vez que se descarga una botella de Leyden; HELMHOLTZ (1847), el maestro de Hertz, se había ocupado de las oscilaciones eléctricas y había establecido que la chispa eléctrica es un fenómeno discontinuo; KELVIN demóstró, en 1855, que la chispa es oscilante como un péndulo; FEDDERSEN, en 1858, midió la duración de las oscilaciones de una chispa de la botella de Leyden por medio de espejos giratorios; KIRCHHOFF, en 1864, dió la teoría de la descarga oscilante (véase KIRCHHOFF); HUGHES también estudió las oscilaciones eléctricas y VON BEZOLD, en 1870, midió la longitud de onda de oscilaciones eléctricas y observó interferencias en hilos conductores.

Una casualidad vino también a ayudar a Hertz: En el gabinete de física de la Escuela Técnica de Karlsruhe existía un par de espirales para el estudio de la inducción. Hertz las empleó en una de sus clases y realizó con ellas algunos experimentos; observó así que si se hace pasar por una de esas espirales de poca longitud una descarga de poca capacidad, como la de una pequeña botella de Leyden, y si en

(1) "La Física Moderna" de L. POINCARE, pág. 190-214.

esta espiral hay una discontinuidad que da lugar a la formación de una chispa, esta ruptura del estado eléctrico produce en otra espiral de dimensiones también limitadas, una clara repercusión de esa perturbación. Las dos viejas espirales del gabinete de Karlsruhe dieron, pues, a Hertz, su primer excitador y su primer "resonador eléctrico".

Pocas modificaciones aportó Hertz a este aparato que le había sido proporcionado por la casualidad. Como excitador empleó rectángulos o simplemente dos hilos gruesos provistos de dos cilindros o globos huecos y terminados por pequeñas esferas entre las cuales se produce la chispa. Cargaba el excitador con un carrete de RUHMKORFF (1). El número de oscilaciones producidas puede ser, en este dispositivo, de quinientos millones por segundo como lo obtenía Hertz y, al mismo tiempo, TESLA en Norte América, y de mucho más en aparatos perfeccionados como los de LECHER Y BLONDOT. Para revelar la presencia de las ondas eléctricas en el espacio circundante al excitador, Hertz imaginó un "resonador eléctrico" que consiste sencillamente en un hilo doblado sobre sí mismo y cuyos extremos llevan esferillas, entre las cuales se produce una chispa cuando el resonador recibe las ondas eléctricas; la longitud de este aparato se fija de modo que produzca la mayor resonancia posible con un excitador determinado.

Este fué el sencillísimo aparato cuyo empleo permitió a Hertz realizar sus gloriosos descubrimientos.

En el curso de los primeros descubrimientos descritos en su memoria "Sobre las Oscilaciones Eléctricas muy Rápidas", Hertz descubrió un curioso fenómeno: La chispa del resonador era corta y poco brillante cuando recibía la luz de la chispa del excitador y recuperaba toda su longitud y su brillo si se colocaba una pantalla que interceptara la luz de la chispa del excitador. Este nuevo fenómeno de relación entre la luz y la electricidad, llamado "efecto fotoeléctrico de Hertz", fué atribuído por este sabio a la influencia de los rayos ultravioletas sobre la chispa eléctrica y fué descrito en su memoria "Sobre la Influencia de la

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 233. GANOT, pág. 817.

Luz Ultravioleta sobre la Descarga Eléctrica" (1887). WIEDEMANN, EBERT, HOLLWACHS y RIGHI estudiaron también esta interesante cuestión.

La observación de Hertz de que los rayos ultravioletas favorecen la descarga eléctrica, completada al año siguiente (1888) por WIEDEMANN y EBERT, que establecieron que esta influencia se ejerce en el cátodo, es interesante para la electricidad atmosférica pues destaca la importancia de la influencia de la luz sobre las descargas. Tiene además su observación de que metales alumbrados desprenden electricidad negativa, consecuencias y aplicaciones importantes en nuestros días, pues son la base de la fotoelectricidad y de su aplicación: la célula fotoeléctrica empleada en televisión y en el cine sonoro.

En 1888, Hertz publicó una memoria "Sobre la Acción de una Oscilación Eléctrica Rectilínea sobre un Circuito Vecino" en que daba cuenta de la distribución de la fuerza eléctrica en el espacio próximo al exitador; y, poco después, en su trabajo "Sobre las Fuerzas de la Oscilación Eléctrica según la Teoría de MAXWELL", demostraba que todos esos fenómenos sólo pueden ser explicados por dicha teoría o sea por su sistema de seis ecuaciones.

Pero estas dos últimas memorias de Hertz no eran más que la introducción de una serie de trabajos que se sucedieron casi sin interrupción durante todo el año 1888. Una de las primeras de estas memorias fué "Sobre la Velocidad de Propagación de las Acciones Electrodinámicas", en que obtiene para la velocidad de la onda en el aire un valor comparable a la velocidad de la luz; pero, por errores que reconoció más tarde, obtuvo grandes diferencias entre esta velocidad en el aire y la velocidad en los conductores, lo que era contrario a la teoría de MAXWELL. Hertz afirmó después: "He insistido sobre este punto porque quería convencer al lector que yo no he querido confirmar fácilmente una opinión anticipada; al contrario, he hecho cuidadosos experimentos, pero en lugar de llegar al verdadero fin con poco trabajo, me han dado mucho trabajo y me han hecho incurrir en un error." E. SARASIN y L. DE LA RIVE, y Hertz mismo, observaron más tarde que, para longitudes

de ondas menores, las velocidades en el aire y en el conductor no tienen casi ninguna diferencia sensible.

Hertz quiso naturalmente estudiar los caracteres de la propagación de esta nueva forma de energía radiante. En su estudio "Sobre las Ondas Electrodinámicas en el Aire y su Reflexión", relató los experimentos en que hacía reflejar las ondas en láminas de zinc de 8 metros cuadrados y provocaba interferencias entre el rayo directo y el rayo reflejado, que determinaba con toda exactitud con su resonador. En su otra memoria "Sobre los Rayos de Fuerza Eléctrica", Hertz mostró que llegaba a producir ondas de 30 centímetros de longitud que podían ser concentradas en espejos (1), para formar verdaderos "rayos de fuerza eléctrica" que se propagan en línea recta, son reflejados por los metales, atraviesan la madera y la piedra, son refractados (2) en un prisma de resina y son polarizados por una reja de alambre (la "reja de Hertz") cuando sus barrotes se encuentran en posición paralela a las oscilaciones eléctricas, pues entonces la electricidad inducida en ellos absorbe los "rayos". Colocada paralelamente a las oscilaciones magnéticas, la "reja de Hertz" no detendría en nada los rayos. Inútil es decir que esta memoria de Hertz fué recibida con enorme entusiasmo por todos los que seguían ansiosamente sus experimentos; y este modesto sabio escribió: "Estos experimentos se han sucedido sin dificultad; han recibido una acogida que no podía esperar".

En 1891, en Bonn, Hertz publicó todavía un trabajo "Sobre las Acciones Mecánicas de las Ondas en los Hilos" en que demostró que toda onda eléctrica va acompañada de una onda magnética. Más tarde, volvió a ocuparse de la descarga eléctrica en los gases y descubrió, simultáneamente con WIEDEMANN y EBERT, que los rayos catódicos pueden atravesar una lámina delgada metálica, pero que por fino que sea un dieléctrico les es completamente impermeable.

---

(1) CHWOLSON, t. III, pág. 359.
(2) CHWOLSON, t. III, pág. 430.

Esta es la síntesis superficial de la obra de Hertz en electricidad, obra profunda que, seguida a lo largo de los quince años de esa breve carrera científica, demuestra cuan injusto sería limitarla a sus experimentos más sensacionales de 1888. Más injusto aún resulta considerar, como muchos lo hacen por ignorancia, que Hertz fué simplemente "uno de los precursores del telégrafo sin hilo". Hertz no se preocupó, ni concibió quizás, el lado práctico de sus grandes descubrimientos; no pensó en aplicarlos a la telegrafía y hasta habría contestado a una persona que le preguntaba si las ondas podrían permitir alguna "radiofonía", que esto le parecía difícil por la diferencia de período entre las ondas eléctricas y las ondas sonoras.

Hertz ha dejado a otros el honor de llevar sus descubrimientos a la práctica con el invento de la telegrafía sin hilo y murió antes de ver este hermoso fruto de su obra teórica. Pero su gloria ya era completa con su comprobación de la teoría de MAXWELL, la prueba de la existencia de un medio de propagación de las ondas luminosas y eléctricas y la muerte del concepto de la "acción a distancia" que, desde NEWTON, fué tan pernicioso para la ciencia.

A esto, sin embargo, no se limita la obra de Hertz, pues mientras se sucedían sus descubrimientos y sus producciones sobre las ondas eléctricas, también se interesaba en otras partes de la física. Hemos enumerado al principio de este estudio los principales de esos trabajos, y nos detendremos sólo en su estudio del choque y en su mecánica.

Hertz se ocupó del choque en 1882 (1). Cuando WREN, WALLIS y HUYGHENS trataron la misma cuestión, consideraron, como todos sus predecesores, que el choque es instantáneo. NEWTON, al contrario, consideró que todos los choques tienen una cierta duración y la atribuía a la imperfecta elasticidad de los cuerpos, lo que es inexacto. HODGKINSON (1834) verificó las fórmulas

(1) CHWOLSON, t. II, pág. 444; TAIT, "La durée du choc", Revue Générale des Sciences, 1892, pág. 778.

de NEWTON, pero Hertz fué el primero que tratara de determinar la duración del choque. Planteó el problema general de una presión muy grande ejercida sobre un punto muy pequeño y estableció la duración sólo para velocidades pequeñas. Llegó así a la curiosa conclusión de que si chocaran dos esferas de acero del tamaño de la Tierra y con velocidad relativa de diez milímetros por segundo, la duración del choque sería de 27 horas. TAIT, que pocos años más tarde (1890) se ocupó del mismo problema, dijo: "La memoria de Hertz es notable, a pesar de que las dificultades matemáticas sean tan formidables que la solución se encuentra limitada al caso de deformaciones infinitesimales..."

En su lecho de muerte, Hertz terminaba su obra "Sobre los Principios de la Mecánica" que merecería un estudio especial (1).

Esta mecánica, o más bien este proyecto de mecánica ideal, es absolutamente deductiva y cumple el ideal cartesiano. En la introducción de su obra, Hertz hace la primera crítica interesante de la mecánica clásica de GALILEO y NEWTON; y fué el primero que atacara la infalibilidad de sus principios fundamentales. NEWTON reunió todos los conceptos de mecánica, los definió casi podría decirse definitivamente, pues en los siglos XVIII y XIX la obra de los grandes mecánicos ha sido la ampliación de esa mecánica clásica, la extensión de sus principios. La mecánica de NEWTON era esencialmente sintética, la de EULER y sobre todo la de LAGRANGE era analítica, pero los grandes principios y los conceptos fundamentales no habían cambiado.

Hertz sólo admite magnitudes que se puedan observar, y conserva así la masa, el tiempo y el espacio newtoniano, pero rechaza la fuerza por considerarla un concepto confuso. Toma entonces como único principio que: "El movimiento de las masas libres es el más recto posible"; y este

(1) "La Ciencia Moderna", por E. PICARD, pág. 106-111; MACH, "La Mécanique", pág. 250-259.

principio viene a ser la fusión del principio de inercia y del teorema de GAUSS. Cuando la masa se aparta de este movimiento, Hertz no recurre al concepto de fuerza sino que se refiere a las acciones de contacto de otras masas; y, si estas masas no son visibles como en los casos de fuerzas físicas, supone "masas ocultas" y "movimientos ocultos". A primera vista estas expresiones hacen pensar en conceptos menos claros aún que el de fuerza, pero, sin embargo, como lo hace notar PICARD, el éter y las vibraciones invisibles de los cuerpos que todos admitimos no son sino una masa oculta y movimientos ocultos.

Este proyecto o este ideal de Hertz significa un gran progreso en la historia de la ciencia y: "como programa ideal, la mecánica de Hertz es más hermosa y de una mayor unidad que la mecánica ordinaria, pero ésta es superior en las aplicaciones, como Hertz mismo lo reconoce con esa gran sinceridad que lo caracteriza" (1).

LOS CURIE

PEDRO CURIE
(1859-1906)
MARIA SLODOWSKA CURIE
(1867-1934)

La radioactividad.
P. CURIE: Piezoelectricidad. Piroelectricidad. Simetría en fenómenos eléctricos. Leyes del ferro, para y diamagnetismo.

PEDRO CURIE nació en París en 1859 y murió en la misma ciudad, en 1906, víctima de un vulgar accidente de tráfico.

Doctor en Ciencias, a la edad de veintiun años (1880) fué nombrado profesor de la Escuela Superior de Ciencias

(1) MACH, "La Mécanique", pág. 256.

de Argel y, más tarde, preparador en la Sorbona y jefe de trabajos físicos en la Escuela de Física y de Química Industrial de París (1882).

En 1895, se casó con MARIA SLODOWSKA (1), joven polaca que estudiaba en la Sorbona, que se volvió su colaboradora y continuó gloriosamente la obra común, después de la injusta muerte de Curie.

En 1898, los esposos Curie hicieron su gran descubrimiento del radio. En 1903, Curie recibió la medalla de Davy de la Sociedad Real de Londres y fué nombrado profesor de física en la Sorbona. Al año siguiente, los esposos Curie recibieron el premio Nobel y, en 1905, Pedro Curie ingresó en la Academia de Ciencias.

Estaba pues en plena gloria y la ciencia esperaba todavía mucho de este grande y modesto sabio que había reunido preciosos materiales que debían constituir su obra futura, cuando al atravesar una plaza de París, en un día lluvioso y con el espíritu distraído sin duda por meditaciones científicas, cayó en el pavimento bajo las pesadas ruedas de un camión, que le destrozaron el cráneo.

El único consuelo que tuvo el mundo entero al lamentar esta desgracia, fué que la señora de Curie, su fiel compañera y sabia colaboradora, quedaba para completar la obra

(1) MARIA SLODOWSKA nació en Varsovia en 1867 y murió en Saboya en 1934. Era hija del doctor Slodowska, profesor universitario, a quien acompañó en movimientos revolucionarios a favor de la libertad de Polonia. Perseguida por la policía, María huyó a Cracovia y luego a Rusia, donde fué institutriz, pero al fin, pudo escapar, disfrazada, a sus perseguidores rusos, y llegó a París. En ese centro de libertad, al que acuden los perseguidos de todos los países, María Slodowska se encontró casi sin recursos, sin amigos y vivió varios meses del mísero sueldo que ganaba realizando tareas materiales en los laboratorios de la Sorbona. Allí, LIPPMANN y E. POINCARE se interesaron en su modesta ayudante, se pusieron en comunicación con el doctor Slodowska, hicieron seguir a la joven polaca un curso de física y LIPPMANN la colocó bajo la dirección de CURIE. Pocos meses después, la "señorita Slodowska" era "Madame Curie".

En 1910, Madame Curie publicó su "Tratado de Radioactividad". En 1911, recibió el premio Nobel y la Academia de Ciencias le manifestó su admiración, aunque no la admitiera en su seno por exagerado respeto tradicional. En 1914, la Universidad de París le dió la dirección del "Instituto de Radio", recién fundado.

común. Esta mujer excepcional supo responder a las exigencias de la ciencia, y, ya sola, ya en colaboración con DEBIERNE, prolongó considerablemente la lista de los sorprendentes descubrimientos, frutos de su colaboración con Curie, a quien reemplazó dignamente en la cátedra de física de la Sorbona.



PEDRO CURIE
MARIA SLODOWSKA CURIE

Desde 1880, en colaboración con su hermano JACOBO CURIE (1), Pedro volvió a estudiar la piezoelectricidad (2) o sea la electricidad producida por compresión, que HAUY ya había observado en 1817 y de la cual se habían ocupado A. C. BECQUEREL (1823) y HANKEL (de 1839 a 1881).

En el mismo año de 1880, los dos hermanos Curie estudiaron también la piroelectricidad o sea la electricidad

(1) JACOBO CURIE, hermano mayor de PEDRO CURIE, nació en 1855.

(2) Por distracción, CHWOLSON (t. IX, pág. 295), atribuye este descubrimiento a los esposos CURIE; debe notarse que, en 1880, la después señora de Curie sólo tenía trece años de edad y estaba en Polonia.

originada por cambios de temperatura en los cristales, y dieron una nueva teoría de estos fenómenos, que consiste en considerar cada molécula del cristal como un par de VOLTA (1).

Pedro Curie solo, hizo un estudio profundo de la simetría en los fenómenos físicos y llegó a importantes descubrimientos acerca de los cuerpos ferro, para y diamagnéticos.

En este último estudio, Curie estableció experimentalmente leyes, más o menos aproximadas, que tienen una gran importancia (2). Descubrió así que: "En los cuerpos diamagnéticos la susceptibilidad es independiente del campo y de la temperatura. En los cuerpos paramagnéticos, la susceptibilidad es independiente del campo pero inversamente proporcional a la temperatura absoluta, o sea que el producto de la susceptibilidad por la temperatura es una constante (constante de Curie). En los cuerpos ferromagnéticos la susceptibilidad crece con el campo hasta un límite variable para disminuir después, y crece con la temperatura anulándose totalmente en la temperatura crítica (punto de Curie)."

Estas leyes han sido, especialmente en nuestro siglo, el tema de importantes estudios como los de LARMOR (1897), VOIGT (1902), J. J. THOMSON (1903) y LANGEVIN (3) (1905) quienes explicaron las leyes del diamagnetismo y del paramagnetismo por los electrones, WEISS (1908), GANS (1910), etc... La finalidad principal de esos estudios es establecer la correspondencia existente entre las características magnéticas y térmicas de

---

(1) CHWOLSON, t. IX, pág 259.

(2) "Electrons et Magnétons", por S. MAGRINI (Scientia 1916); GUILLEMINOT, obra citada, t. II, pág. 100-107; CHWOLSON, t. XI, pág. 435 y sigts.

(3) PABLO LANGEVIN nació en 1872. Este físico francés es profesor en el Colegio de Francia y director de la Escuela Municipal de Física de la ciudad de París. Además de sus conocidos trabajos sobre la física molecular y sobre la teoría de EINSTEIN, son célebres sus obras de pedagogía.

la materia; pero son además la base de la teoría del magnetón de LANGEVIN y de WEISS (1).

Pero, a pesar de su importancia, estos trabajos de Curie quedan casi eclipsados por el descubrimiento de la radioactividad, cuya historia reseñaremos brevemente (2):

En 1895, ROENTGEN descubrió los rayos X que, como bien se sabe, atraviesan los cuerpos opacos a la luz, son absorbidos en parte por ellos, excitan la fluorescencia y la fosforescencia, impresionan la placa fotográfica y provocan la conductividad eléctrica en el aire que atraviesan.

Este descubrimiento y las explicaciones dadas por POINCARE en 1896, en la Academia de Ciencias y en varios artículos (3), indujeron a ENRIQUE BECQUEREL (véase) a estudiar las materias fluorescentes y fosforescentes y su acción fotográfica. Este sabio descubrió así, en el mismo año de 1896, que las sales de uranio emiten radiaciones que impresionan la placa y que, como los rayos X, se propagan en línea recta, no se reflejan, ni se refractan, ni se polarizan, atraviesan pantallas y hacen buenos conductores (o sea: ionizan) los gases, pero son menos penetrantes que los rayos X.

---

(1) PEDRO WEISS nació en Mulhausen, Alsacia, 1865. Físico francés, estudió en el Instituto Politécnico de Zurich y fué profesor en la Facultad de Ciencias de Rennes, en la de Lyon y en el Politécnico de Zurich. Después de la Gran Guerra (1918) fué designado profesor de la Universidad de Estrasburgo y director del Instituto de Física. Se ocupó especialmente de magnetismo y es bien conocida su teoría del magnetón. Inventó varios aparatos eléctricos.

(2) "Le radium et la radioactivité" de PAUL BESSON (París, 1904); "Les nouveaux horizons de la science" de GUILLEMINOT; "Les rayons de BECQUEREL et le polonium" por la señora CURIE en la Revue Générale des Sciences (1899); "La radioactivité" por BECQUEREL en la Rev. Gén. des Sciences (1902).

(3) El 30 de enero de 1896, ENRIQUE POINCARE escribía en la Revue Générale des Sciences:

"El vidrio del tubo de CROOKES en que se proyectan los ra-
" yos catódicos, se vuelve fluorescente y a esta fluorescencia se
" une una emisión de rayos de Roentgen. Uno puede entonces
" preguntarse si todos los cuerpos de fluorescencia suficientemente
" intensa, no emiten, además de los rayos luminosos, rayos de Roent-
" gen, cualquiera sea la causa de su fluorescencia."

Debe recordarse aquí que, casi treinta años antes, en 1867, NIEPCE DE SAINT VICTOR había descubierto ya que las sales de uranio impresionan la placa fotográfica, pero los conocimientos científicos de la época no le permitieron sacar mayor provecho de esta observación.

También debe recordarse que, inmediatamente después del descubrimiento de los rayos X, HENRY, NIEWENGLOWSKI y TROOST hicieron experimentos sobre la acción fotográfica del sulfuro de zinc, del sulfuro de calcio y de la blenda hexagonal artificial, respectivamente; pero aquí se trataba de cuerpos flucrescentes, mientras que BECQUEREL, al contrario, demostró que la acción fotográfica del uranio y de sus compuestos es independiente de su fluorescencia, que la luz misma no es necesaria y que se trataba por consiguiente de un fenómeno nuevo. Es a este fenómeno que los esposos Curie dieron el nombre de "radioactividad".

Los rayos de BECQUEREL fueron estudiados por KELVIN, BEATTIE, SMOLUCHOWSKI, ELSTER, GEITEL, SCHMIDT y los esposos Curie; pero, en los primeros tiempos, los sabios se limitaron a considerar esos rayos como una simple variación de los rayos X, hasta que, dos años más tarde, dieron lugar al descubrimiento de elementos radioactivos nuevos.

"Este descubrimiento", dice la señora Curie (1), "ha sido provocado por investigaciones que he realizado en 1898, con el fin de constatar si existen además de los compuestos de uranio, otros cuerpos que posean las propiedades señaladas en primer lugar por ENRIQUE BECQUEREL".

"Utilizando el procedimiento de medidas eléctricas, he encontrado primero que los compuestos de torio se comportan de la misma manera. Después, examinando un cierto número de cuerpos, he constatado que la emisión de los rayos por los compuestos de uranio y de torio es una propiedad atómica de los elementos de uranio y de torio".

(1) "Los radioelementos y sus aplicaciones" por Mme. CURIE, Revue Scientifique, 23 de octubre de 1920.

En 1898 pues, la señora Curie, en París, descubrió, al mismo tiempo que SCHMIDT en Alemania (1), que entre los cuerpos conocidos sólo el torio tiene las mismas propiedades radioactivas del uranio.

Los esposos Curie se servían del poder de ionización del aire de los radioactivos para determinar la intensidad de su radiación, y Pedro Curie inventó con este fin su célebre electrómetro de cuadrante (2) en el cual aprovechó sus estudios anteriores de la piezoelectricidad del cuarzo.

"Continuando este mismo estudio sobre los minerales", sigue diciendo la señora de Curie, "he podido constatar que todos los minerales de uranio y de torio son activos; pero que algunos de ellos lo son en un grado más elevado que el uranio o el torio. Esta observación me sugirió la idea de que existiera en esos minerales elementos desconocidos más activos que el uranio y el torio. Emprendí enseguida, con Pedro Curie, la búsqueda de esos elementos nuevos..."

Los esposos Curie, que ya veían en la radioactividad una propiedad atómica, comprendían que su intensidad (y por consiguiente su poder ionizante) debe ser proporcional a la cantidad de elemento radioactivo. De allí nació un método de análisis completamente nuevo. Los esposos Curie, ayudados por BEMONT, separaron químicamente los elementos en presencia, determinando constantemente la radioactividad de los compuestos obtenidos y llegaron así a aislar dos cuerpos nuevos: uno, parecido al bismuto, descubierto el 18 de julio de 1898 y que llamaron "polonio" para recordar la patria de la señora Slodowska de Curie, y otro, parecido al bario, descubierto en diciembre del mismo año que llamaron "radio".

Por el mismo método, DEBIERNE, en Francia, en 1899, y GIESEL, en Alemania, al año siguiente, descubrieron el "actinio", parecido al torio. Este cuerpo no ha po-

(1) SCHMIDT publicó sus resultados el 4 de febrero de 1898 en la Sociedad de Física de Berlín y la señora de CURIE lo hizo el 12 de abril del mismo año en la Académie de Ciencias de París.

(2) GANOT, pág. 803-4; CHWOLSON, t. IX, pág. 320-23 y 334-36.

dido ser obtenido, aun en nuestros días, en cantidad suficiente para permitir su estudio físico y químico.

En 1902, el "radio-plomo" se extrajo de los minerales de uranio, en Alemania; en 1905, HAHN, en el laboratorio de RUTHERFORD, separó el "radiotorio" y el "mesotorio" del torio; en 1907, BOLTWOOD, en Norte América, descubría el "iono" (1); y, en 1918, SODDY y CRANSTON, en Inglaterra, y HAHN, LISE y MEITNER, en Alemania, descubrieron el "protactinio". Pero no podemos estudiar aquí todos los elementos radioactivos que se agrupan ya alrededor del uranio, ya del torio, ya del actinio.

Además de la separación química y del análisis radioactivo, Curie y sobre todo DEMARCAY (2) hicieron el análisis espectroscópico de los nuevos cuerpos.

E. BECQUEREL, GIESEL, STEFAN MEYER, VON SCHWEIDLER (3) y RUTHERFORD (4) estudiaron desde 1899, la influencia de los campos eléctrico y magnético sobre las radiaciones y observaron que un campo magnético divide los rayos en tres grupos:

Rayos α. — Partículas positivas — desviadas con dificultad y en sentido inverso a los rayos catódicos — gran radio de curvatura — absorbidos por una

---

(1) Léase el interesante artículo "The part played by different countries in the development of the science of radioactivity", por LAWSON, en Scientia (1º Oct. 1921).

(2) EUGENIO DEMARCAY (1852-1903), químico francés, preparador de CAHOURS en la Escuela Politécnica, se ocupó mucho de espectroscopía.

(3) EGON VON SCHWEIDLER (nació en Viena en 1873), físico austríaco, profesor de Física de la Universidad de Viena desde el año 1926.

(4) ERNESTO RUTHERFORD (nació en Nelson, Nueva Zelandia, en 1871), hizo sus estudios en Australia y en Inglaterra. En 1898, fué nombrado profesor en Montreal y, en 1907, en Manchester. Desde 1919, ocupa la cátedra de Física de la Universidad de Cambridge y es director del laboratorio de Cavendish. En 1908 le fué discernido el premio Nobel y, en 1922, la medalla Copley. Desde su obra: "Radioactividad" (1904) ha publicado numerosas obras sobre el mismo tema. En 1931 fué ennoblecido por el rey de Inglaterra.

lámina de aluminio de un décimo de milímetro. — Forman el 62 % de los rayos. — Son la radiación más característica de la radioactividad.

Fué RUTHERFORD quien demostró su desviación en 1903.

Rayos β. — Partículas negativas (electrones), más penetrantes que los α — desviados con mayor facilidad y en el mismo sentido que los catódicos — radio de curvatura menor que el de los rayos α — son el 24 % de los rayos.

Fueron estudiados especialmente por GIESEL, MEYER, SCHWEIDLER, BECQUEREL y KAUFMANN.

Rayos δ. — Sin carga eléctrica — muy penetrantes — no desviables — poco intensos — son el 14 % de los rayos.

Fueron descubiertos por VILLARD (1), en 1900; RUTHERFORD y ANDRADE demostraron su reflexión normal.

Curie (1900) fué el primero en determinar la distancia a que llegan los rayos α en el aire; RUTHERFORD (1903), BECQUEREL y DECOUDRE determinaron su velocidad; GEIGER estableció la fórmula que permite calcular la distancia en función de la velocidad y una constante característica del elemento radioactivo.

Curie demostró, por medio de su electroscopio, que las partículas α transportan cargas positivas y las β cargas

(1) PABLO VILLARD (Lyon 1860-Evreux 1934), físico francés, miembro de la Academia desde 1909, descubrió el hidrato de argo (1896); se ocupó de Rayos X y de radioactividad.

negativas, y STRUTT (RAYLEIGH) (1) imaginó un ingenioso dispositivo para la misma determinación.

En 1903, Curie y LABORDE vieron que las sales de radio son el centro de una formación continua y espontánea de calor. Constataron que estas sales tienen una temperatura más elevada que la del ambiente de 1 ½° C. y que un gramo de radio produce cien calorías por hora.

Curie realizó con DEWAR el siguiente experimento: Un tubo de vidrio con radio se sumerge en un vaso de Dewar que contiene hidrógeno líquido y éste se volatiliza a razón de 73 $cm.^3$ por minuto; DEBIERNE, con experimentos parecidos, demostró que el actinio también produce calor.

La señora Curie determinó el peso atómico del radio en 226.4.

Como fenómenos luminosos, los esposos Curie observaron la fluorescencia provocada por el radio, igual a la que provocaron los rayos X o los rayos Becquerel, y la luminescencia del radio o sea una luz espontánea que emana de toda su masa y no sólo de la superficie como en los cuerpos fosforescentes.

Como fenómeno eléctrico, Curie demostró que los cuerpos radioactivos no sólo ionizan los gases, sino también los dieléctricos líquidos.

Como fenómenos químicos, los esposos Curie constataron (1899) que el radio encerrado en un tubo de vidrio no tiene efecto sobre el oxígeno, pero que lo transforma en ozono tan pronto se abra el tubo Otros sabios estudiaron la descomposición del agua por el radio.

Otra propiedad curiosa que observaron en el radio es la de la termoluminiscencia: el vidrio en un tubo de radio adquiere un matiz obscuro y, calentándolo, lo pierde y se vuelve luminoso.

Los efectos fisiológicos del radio fueron observados desde un principio por Curie y por GIESEL. El primero se dió cuenta de que, después de manipular sales de radio, sus dedos parecían presentar quemaduras.

---

(1) GANOT, p. 805, figura 967.

BECQUEREL, que debía morir a consecuencia de las heridas no cicatrizables del radio, observó en el curso de un viaje de estudio que realizó por Holanda, que un tubo de radio que llevaba en el bolsillo de la levita, le había causado quemaduras en el pecho.

Curie y LABORDE estudiaron muchos cuerpos desde el punto de vista de su radioactividad y descubrieron que muchas aguas minerales son radioactivas.

La primera explicación que los esposos Curie encontraron para la radioactividad, fué la hipótesis de la emanación. Esta se encontraba confirmada por el fenómeno de "radioactividad inducida", descubierto por ellos en 1899 y generalmente llamado "radioactividad temporaria", pues los cuerpos puestos en presencia del radio se vuelven radiactivos, pero sólo por un tiempo muy limitado.

RUTHERFORD, OWENS, RAMSAY, SODDY, ROYDS y DORN pudieron recoger la emanación del torio y luego la del radio, que aparecen como gases simples RAMSAY llamó a la emanación del radio "nitón" y observó que su radioactividad disminuye de una mitad en un término de alrededor de cuatro días, llamado "período de vida media". En cada período medio la radioactividad disminuye de una mitad y lo que queda al fin es helio y un depósito radioactivo que es un elemento nuevo.

RUTHERFORD y SODDY (1) ampliaron la hipótesis de Curie; y, en 1902, dieron la teoría de la desintegración de los elementos radioactivos (2). Según esta teoría, los cuerpos radioactivos son todos temporarios, pero en grados muy distintos. Su emanación se destruye a medida que se forma, pues cada radioactividad inducida o temporaria caracteriza una transmutación del átomo radioactivo que

---

(1) SODDY (nació en Eastbourne en 1877), estudió en Oxford y, en 1900, fué a Montreal como ayudante de química. En 1904 fué nombrado lector de química y de radioactividad en Glasgow. Durante la Gran Guerra era profesor en Aberdeen y, en 1919, fué nombrado profesor en Oxford. Fundó la Roentgen Society (1905) y recibió el Premio Nobel (1921).

(2) Física de WATSON, p. 827. — Artículo de LAWSON anteriormente citado.

se destruye en función del tiempo, para producir otro elemento temporario, que a su vez se destruirá para dar nacimiento al elemento siguiente.

El cuerpo radioactivo, por ejemplo, pierde en un segundo una parte de sus átomos por desintegración y esta fracción expresada por la "constante de desintegración", da el valor del "período de vida media".

Un átomo de radio que se desintegra, pierde una partícula α (que es un átomo de helio) y deja un átomo de "emanación de radio". La emanación tiene una vida media de 3.85 días; pierde una partícula α y deja un átomo de "radio A".

El radio A pierde la mitad de su actividad en 3 minutos, emite una partícula α y deja un átomo de "radio B". Este, a su vez, tiene una vida media de unos 26 minutos, emite partículas β y deja un átomo de "radio C". Este tiene 21 minutos, emite α y deja "radio D", de unos 16 años, que emite β y deja "radio E". Este radio E, de 5 días de vida media y que emite β, deja "radio F", que no es sino el polonio, de tiempo medio de 136 días, que emite α y deja, según la señora Curie y DEBIERNE, plomo estable no radioactivo.

Además, cuando un átomo pierde una partícula α, o sea un átomo de helio, pierde 4 unidades de peso atómico, pero no varía el peso atómico cuando emite partículas β ó δ. Así el radio inicial de peso atómico evaluado en 226.5, pierde 16 en peso atómico al llegar al polonio (radio F), de peso atómico de 210.5, pues ha pasado ya por cuatro elementos radioactivos de emisión α: radio, emanación, radio A y radio C.

SODDY y MACKENZIE han probado experimentalmente que el radio, a su vez, proviene del uranio por desintegración, y como el uranio tiene un peso atómico de 238,5 y el radio de 226,5, o sea una diferencia de 12, debe admitirse por la teoría de RUTHERFORD y SODDY que se han producido tres trasmutaciones con emisión α entre los dos cuerpos.

El ionio de BOLTWOOD, de peso atómico 230.5 sería un elemento intermediario, inmediatamente anterior al radio pues emite partículas α. El cuerpo intermediario entre el uranio y el ionio, de peso atómico 234.5, sería el "Uranio X" que, por su emisión β o sea sin cambio de peso atómico, daría lugar a los cuerpos "Uranio X2", "Uranio Z" y "Uranio II".

El tiempo medio del uranio sería de 4.700 millones de años; el del uranio X sería de 23 días; el del uranio X_2 de 1.15 minuto; el del uranio Z de 6.8 horas; el del uranio II 2.100.000 años; el del ionio de 100.000 años; y el tiempo medio del radio sería de 1580 años.

Muchas hipótesis han nacido del estudio de estos fenómenos tan nuevos. GUSTAVO LEBON (1) ha establecido así su atrevida hipótesis de la desintegración general de la materia (2). RAMSAY ha creído poder llegar al sueño de los alquimistas, "la transmutación de la materia". Con experimentos difíciles y minuciosos (3) creyó poder establecer que la emanación de radio en agua, la descompone y produce neón. En sulfato de cobre produciría argón, litio y sodio, pero este último se debería tal vez al vidrio del recipiente. Del mismo modo el nitrato de torio podría trasmutarse en gas carbónico. Pero estos experimentos no pudieron ser confirmados a pesar de los esfuerzos de RUTHERFORD y de la señora de Curie. J. J. THOMSON sería sin embargo autor de algunas investigaciones que permitirían tener alguna fe en los experimentos del gran sabio RAMSAY.

Fuera del mundo hipotético de las teorías nuevas, el descubrimiento de la radioactividad ha dado grandes resultados prácticos. La radioterapia fundada en 1896 por el

(1) GUSTAVO LEBON (Nogent le Rotrou 1841-París 1931), doctor en medicina, etnólogo, arqueólogo, filósofo, historiador, físico etc. Lebon fué indiscutiblemente uno de los grandes eruditos de nuestros tiempos.

(2) "La Evolución de la materia", por G. LEBON.

(3) Véase "L'évolution des sciences", por HOULLEVIGUE (París, 1914).

doctor FREUND de Viena, ha hecho grandes progresos y es un importante capítulo de la Medicina. La industria emplea también cuerpos radioactivos en la preparación de las pinturas luminosas para relojes y otros aparatos que se consultan en la obscuridad.

Como el estudio de la radioactividad pertenece en su mayor parte al siglo XX, traspasa el límite que hemos fijado para esta obra. Agregaremos, sin embargo, que la radioactividad, obra de ENRIQUE BECQUEREL y de los esposos Curie, se desarrolló primero en tres grandes escuelas: en París, con BECQUEREL, los esposos Curie, DEBIERNE, LABORDE, etc.; en Montreal, con RUTHERFORD, quien se trasladó a Manchester y luego a Cambridge; en Viena, con STEFAN MEYER y VON SCHWEIDLER.

De esas escuelas, los estudios se propagaron a todo el mundo civilizado y principalmente a Alemania con HAHN, GEIGER, SCHMIDT, LENARD, ELSTER, GEITEL, etc., a Inglaterra con J. J. THOMSON, STRUTT (RAYLEIGH), RAMSAY, HUGGINS (1), etc.

Recordaremos todavía que, en 1910, tuvo lugar en Bruselas un gran "Congreso de Radiología" en que se encontraban Mme. Curie y DEBIERNE (Francia), RUTHERFORD y SODDY (Inglaterra), HAHN y GEITEL (Alemania), MEYER y VON SCHWEIDLER (Austria), BOLTWOOD y EVE (Norte América). Este Congreso encargó a la señora de Curie del patrón internacional del radio, que esta sabia mujer realizó en 1912.

---

(1) GUILLERMO HUGGINS (Londres 1824-1910), astrónomo inglés. Su señora MARGARITA LINDSAY (1849-1915) fué su activa colaboradora.

ARRHENIUS
(1859-1927)

Teoría de la electrólisis. La disociación.

SVANTE ARRHENIUS nació en Wijick (Suecia) en 1859 y murió en 1927.

En 1884, se graduó en física y química en la Universidad de Upsal y, de 1886 a 1890, becado por el gobierno sueco, viajó por Rusia, Alemania y Holanda y trabajó al lado de OSTWALD (1) en Riga y en Leipzig, al lado de KOHLRAUSCH en Wurtzburg y con VAN'T HOFF en Amsterdam.

Tan pronto como volvió a su patria, empezó a enseñar y, en 1895, obtuvo la cátedra de física de la Escuela Superior de Estocolmo.

---

(1) GUILLERMO OSTWALD (nació en Riga en 1853 y murió en 1932), eminente químico alemán de origen ruso, estudió en Dorpat, donde fué auxiliar de física desde 1875, luego enseñó en la Escuela Politécnica de Riga (1881) y en la Universidad de Leipzig (1887-1906). En 1909, recibió el premio Nobel de química.

No nos incumbe estudiar aquí la vasta obra química de Ostwald y sólo podemos reseñar lo que en ella interesa fundamentalmente a la física. Sus primeros trabajos fueron relacionados con los trabajos de ARRHENIUS y la ionización. Hablamos en otra parte (véase HIRN y RANKINE) de su adhesión a la "energética" como consecuencia de su estudio de la termodinámica, empezado hacia 1888. Hemos visto también (véase MAXWELL) que persiguió al mecanismo cartesiano en todas sus consecuencias teóricas, como el atomismo y la teoría de FRESNEL. Hemos citado su nombre entre los de los principales comentadores y propagadores de la obra de GIBBS. En electricidad, hemos indicado su colaboración al estudio del problema de la electricidad de contacto. Sería muy largo enunciar todas las cuestiones de interés común a la física y la química en cuyo estudio se destaca el nombre de Ostwald. Hojeando CHWOLSON se verá su influencia en el estudio de la sobrefusión (tomo VI, pág. 202), de las mezclas ternarias (1900) (t. VIII, p 248), de la electrocapilaridad (t. IX, p. 214 y 220), de la electricidad de contacto (t. IX, p. 238), de los fenómenos secundarios de la electrólisis (t. X, p. 206), de la polarización estudiada según la teoría de la disociación (t X, p. 268) y se verán aparatos de su invento como una bomba de agua para hacer el vacío (t. II, p. 161), su dilatómetro (t. VI, página 123), etc.

Como historiador de ciencia también debe ser recordado su nombre, pues, desde 1887, fundó y dirigió la publicación "Los clásicos de las Ciencias Exactas" y escribió "Los Grandes Hombres", obra que hemos citado repetidas veces. En 1889, fundó con VAN'T HOFF, "La Revista de física-química".

La obra de Arrhenius se extiende a la física y a la química, pero lo que principalmente da celebridad a su nombre es su teoría de la electrólisis, que es el fundamento de todas las teorías modernas de este fenómeno (1).

Hemos visto (2) que los sabios ingleses descubrieron la descomposición del agua y de las soluciones por la corriente, pocos meses después del invento de la pila por VOLTA. En 1806, GROTTHUS y DAVY emitieron simultáneamente teorías idénticas sobre este fenómeno. En 1812, BERZELIUS dió una teoría electroquímica; en 1833, FARADAY descubrió las leyes del fenómeno que llamó "electrólisis", pero no emitió teoría acerca de su mecanismo; en 1857, CLAUSIUS dió su teoría de la electrólisis.

Hemos dicho también: que las teorías anteriores a la de CLAUSIUS atribuían a la electricidad la función de separar los iones; que CLAUSIUS mostró que por débil que fuese la intensidad de la corriente siempre se producía la electrólisis; que consideró que, por esta razón, no se debía atribuir a la electricidad la disociación de los iones ya que, para vencer la afinidad química, se necesitaría un mínimum de corriente bajo el cual no podría existir disociación; que CLAUSIUS consideró entonces que los iones se desprenden espontáneamente como consecuencia de los choques entre moléculas; que los iones libres se unen constantemente, y que la corriente no hace sino dirigir progresivamente los iones libres hacia sus electrodos respectivamente.

En 1880, HELMHOLTZ desarrolló la teoría de CLAUSIUS y consideró a priori que todas las moléculas del electrólito están disociadas.

Arrhenius inició sus célebres investigaciones en 1887 y puede considerarse esta fecha como la del establecimiento de la teoría moderna de la electrólisis.

La base de la teoría de Arrhenius es haber comparado los electrólitos con gases disociados.

---

(1) CHWOLSON, t. X, p. 229-257; A. HOLLARD "Les théories modernes de l'électrolyse", Revue Générale des Sc., 1898, p. 358-411.
(2) Biografía de DAVY, GROTTHUS, FARADAY y CLAUSIUS.

Que esta suposición sea o no exacta no es aquí lo que más interesa, lo cierto es que, partiendo de esa hipótesis, Arrhenius llegó a concretar su teoría y a descubrir relaciones entre fenómenos que hasta aquel entonces parecían estar completamente aislados unos de otros.

Fué VAN'T HOFF quien mostró que se podrían sacar importantes consecuencias científicas de la comparación entre las soluciones y los gases. La analogía es perfecta: Las moléculas de un cuerpo disuelto se mueven en el disolvente como las moléculas de un gas se mueven en el éter. La presión osmótica de la solución corresponde exactamente a la presión del gas contra las paredes del recipiente, como lo demuestran importantes estudios de PFEFFER (1), de VAN'T HOFF y de RAOULT.

Las leyes de BOYLE-MARIOTTE, de GAY-LUSSAC y de AVOGADRO son aplicables a las soluciones como a los gases, siempre que se reemplace la presión del gas por la presión osmótica de la solución. Expresadas así, esas leyes no son sino las "leyes osmóticas de VAN'T HOFF".

La disociación de los gases es en fin análoga a la disociación de las soluciones conductoras de la electricidad o sea a la disociación electrolítica.

Es sobre este fundamento que Arrhenius edificó su teoría y estableció que: En toda solución de un electrólito cierto número de moléculas están disociadas; y este grado de disociación depende de la concentración de la solución y aumenta cuando esta concentración disminuye.

La electricidad no provoca pues la disociación y no tiene otra función, como en la teoría de CLAUSIUS, sino la de dirigir los iones.

De este principio inicial, Arrhenius sacó numerosas consecuencias teóricas y las comprobó con las experiencias.

(1) GUILLERMO PFEFFER (nació en 1845 y murió en Leipzig en 1920), eminente botánico alemán, enseñó en Bonn (1873), Basilea (1877), Tubinga (1878) y Leipzig, donde fué nombrado director del Instituto Botánico (1837). Hemos citado ya su intervención en la ósmosis (véase MAGNUS).

Dedujo así que la conductibilidad aumenta cuando se diluyen las soluciones débiles. Demostró (1889) que en los electrólitos muy débiles la disociación disminuye cuando aumenta la temperatura y (1892) que la temperatura aumenta la movilidad de los iones: pero, como la conductibilidad es proporcional al grado de disociación y a la movilidad de los iones, un aumento de temperatura puede significar una disminución de conductibilidad.

OSTWALD, VAN'T HOFF, PLANCK (1) y otros físicos y químicos estudiaron contemporáneamente a Arrhe-

---

(1) MAXIMILIANO PLANCK (nació en Kiel en 1858), físico alemán, estudió y enseñó en Munich y en Berlín. En 1907, reemplazó a BOLTZMANN en Viena. Su obra se relaciona con la energía y la termodinámica y su nombre recuerda de inmediato la teoría de los "quanta" que estableció en 1900, iniciando así el siglo XX con un concepto absolutamente nuevo, de vastas consecuencias derivadas de su aplicación al estudio de tantos fenómenos de reciente descubrimiento como los rayos X, los electrones, la radioactividad. Los estudios de Planck derivan directamente de los de STEFAN, de BOLTZMANN y de WIEN (véanse) sobre relaciones entre la temperatura absoluta de un cuerpo y la energía que emite. BOLTZMANN incluyó este estudio en la teoría electromagnética de MAXWELL y Planck (1900) presentó, como nueva explicación la teoría de los "quanta" con la cual consideraba la materia como constituída por un sinnúmero de osciladores, de distintas frecuencias. La energía de cada uno de esos osciladores sería un múltiplo exacto del "quantum" de energía, unidad, grano o "átomo" de energía que es el producto de la frecuencia del oscilador por una constante ("constante de Planck" o "quantum de acción") de valor perfectamente determinado con resultados concordantes en distintos fenómenos, de $655 \cdot 10^{29}$. Un oscilador alcanzado por una radiación de frecuencia igual a la suya absorbe esta radiación y aumenta su energía con los "quanta" de la radiación absorbida. Este concepto de los "quanta" introdujo en el estudio de la energía la imagen de la discontinuidad, de la granulación, del atomismo en fin, y provocó por ello mismo gran oposición, particularmente de parte de los matemáticos que, en el cálculo, adoptaban con mayor conveniencia la imagen de la continuidad.

La teoría de los quanta ejerció una influencia decisiva sobre los conceptos acerca del átomo. Impuso la modificación del modelo imaginado por RUTHERFORD y condujo a la creación de los modelos de BOHR (1913) y de A. SOMMERFELD (1915). También sirvió de base a la modernísima "mecánica ondulatoria" de LUIS DE BROGLIE (1923), de E. SCHROEDINGER (1926), de W. HEISENBERG (1926), de P. DIRAC (1929). EINSTEIN (1911) aplicó la teoría de Planck al estudio de las temperaturas muy bajas, como Planck la aplicara al estudio de la incandescencia de los sólidos, como BOHR la extendiera a la luminescencia y HABEZ a las reacciones químicas. Pero la teoría de Planck inauguró el siglo XX y pertenece pues a un período, complejo y

nius esas interesantes relaciones entre la temperatura, la conductibilidad y la concentración.

Coordinando estas determinaciones, Arrhenius estableció relaciones entre la conductibilidad eléctrica de una solución y su punto de ebullición, su punto de congelación, la tensión de su vapor y su presión osmótica. Estableció pues, como lo acabamos de decir, relaciones entre fenómenos que hasta entonces parecieron estar completamente aislados unos de otros.

A la teoría de la electrólisis de Arrhenius deben unirse los trabajos citados de OSTWALD, VAN'T HOFF y PLANCK, la teoría de HITTORF (véase) sobre las velocidades de trasporte de los iones y la ley de KOHLRAUSCH (véase) sobre la relación entre los factores de trasporte y las conductibilidades moleculares.

Aunque este estudio de Arrhenius eclipse sus demás trabajos, deben recordarse sus memorias sobre el paso de la electricidad a través de los vapores de las sales, sobre la influencia de la luz en la conductibilidad eléctrica de la atmósfera y de las sales de plata, sobre la influencia de la Luna en el estado eléctrico de la Tierra, etc.

Después de 1900, Arrhenius se dedicó especialmente a la química fisiológica, a la electroquímica y a la física cósmica, y es como químico que la Academia de Ciencias de Suecia le discernió el premio Nobel, en 1903.

---

en plena evolución, de la historia de la física, período en cuyo estudio no pretendemos penetrar.

En cuanto a la teoría de Planck de las soluciones diluídas y de la disociación de las soluciones de los electrólitos, relacionada con las investigaciones de ARRHENIUS, de VAN'T HOFF, de PFEFFER, de CLAUSIUS, etc., nos remitimos a los textos de física (CHWOLSON, t. VIII, p. 190-199), pero debemos observar, desde el punto de vista histórico, que sus investigaciones en este sentido son simultáneas con las de ARRHENIUS y absolutamente independientes de ellas a pesar de la gran coincidencia de conceptos existente entre los trabajos de esos dos físicos.

G. WIEN
(1864-1928)

Repartición de la energía en el espectro. Falta de uniformidad en la repartición de energía en la zona infrarroja. Estudio termodinámico de la energía radiante. Ley de desplazamiento de Wien. Carga positiva de los rayos Goldstein. Movimiento ondulatorio.

GUILLERMO WIEN nació en Gaffken, cerca de Fischhausen, en 1864 y murió en Munich en 1928.

Estudió desde 1882 en Gotinga, en Heidelberg y en Berlín y obtuvo su licencia en esta última ciudad en 1886 con una tesis sobre la absorción de la difracción de la luz. A los treinta y dos años se inició en la enseñanza como profesor en Aquisgrán, y lo fué luego en Giessen, en Wurzburgo y en Munich. En 1911, le fué otorgado el premio Nobel de Física.

La obra de Wien se inició al final del siglo XIX y se prolongó ampliamente en el siglo XX. No haremos pues sino señalar los rumbos marcados por ese sabio.

Su estudio principal es la repartición de la energía en el espectro. En 1893, demostró que la zona infrarroja no contiene todas las longitudes de ondas que pueden corresponderle. Esta observación de la falta de uniformidad en la distribución de las longitudes de ondas en la zona infrarroja había sido ya señalada por J. HERSCHEL (1843) y estudiada por MULLER (1858), TYNDALL (1866), LAMANSKY (1872), LANGLEY (1883), y fué tratada además por PASCHEN (1893) y en fin por RUBENS (1895).

En 1894, prosiguiendo este estudio, Wien aplicó el segundo principio de la termodinámica al estudio de las radiaciones caloríficas, estableciendo así el lazo entre este principio la ley de KIRCHHOFF y la ley de STEFAN, ley que, como lo hemos visto, BOLTZMANN (véase) volvió a descubrir como consecuencia matemática de di-

cho principio y que PLANCK volvió a establecer teóricamente en 1910.

En esta cuestión, las obras de STEFAN, de BOLTZMANN, de Wien y de PLANCK tienen muchos puntos de contacto, tanto en su fin como en sus consecuencias. En todas ellas se llega a la relación entre la temperatura absoluta de un cuerpo y la energía que emite.

En su determinación de la relación entre la energía radiante y las longitudes de ondas, Wien descubrió la "ley de desplazamiento" que lleva su nombre (1) y con la cual estableció que el producto de la temperatura absoluta por la longitud de onda correspondiente al máximum de energía en el espectro del cuerpo negro es una constante. (Constante de Wien). Esta ley del desplazamiento y las fórmulas que de ella se deducen y que permitieron a Wien determinar la temperatura y la entropía de la energía radiante, fueron comprobadas con ligeras variantes por PASCHEN (1896), por LUMMER y PRINGSHEIM en 1899, por medio del bolómetro, y fueron utilizadas también por PLANCK (1897) en el estudio de esta cuestión, estudio que lo llevó a la teoría de los quanta, relacionada a su vez con los conceptos de BOLTZMANN.

Estos trabajos de Wien, como los de PLANCK, tendían además a establecer la anhelada relación entre la teoría de MAXWELL y el estudio de las radiaciones caloríficas.

Hemos visto ya (véase CROOKES) que, en 1897, Wien estudió ampliamente los rayos canales de GOLDSTEIN y determinó su carga positiva así como la relación entre su carga y su masa, relación del orden de magnitud de las relaciones correspondientes en la electrólisis.

Agreguemos aún a este estudio principal de Wien, su amplia colaboración al estudio del movimiento ondulatorio tanto en acústica como en los fenómenos oscilatorios eléctricos y también en las ondas acuáticas que trató en su ampliación de la hidrodinámica de HELMHOLTZ, en 1895.

(1) CHWOLSON, t. III, p. 297.

Recordemos además: sus estudios de termoelectricidad; su método de medida de la capacidad de polarización (1897); su ampliación de la determinación de la relación entre medidas electromagnéticas y medidas electrostáticas realizadas por WEBER y KOHLRAUSCH y de singular importancia en la teoría de MAXWELL (véase); su estudio del aumento de la conductividad eléctrica en los cuerpos cuando se disminuye la temperatura, cuestión iniciada por DAVY al principio del siglo XIX y tratada en los grandes fríos por CAILLETET, BOUTY, HOLBORN, Wien y por KAMMERLINGH ONNES (1911).

También figura, aunque en puesto menos destacado, en la Historia de la Física, MAX CARLOS WIEN, quien nació en Koenigsberg, en 1866, y se doctoró en Berlín (1888) después de haber cursado sus estudios en Koenigsberg, Friburgo y Brisgovia. Max Wien fué ayudante de ROENTGEN de 1892 a 1895 en Wurzburgo, luego fué profesor en Aquisgrán. Se ocupó del perfeccionamiento del teléfono y de la radiotelegrafía por el sistema BRAUN, y, en 1897, amplió el estudio de los circuitos acoplados empleados por BRAUN con investigaciones acerca de las oscilaciones de dos sistemas solidarios y llegó a su conocida conclusión presentada en forma humorística: "Los sistemas acoplados sienten horror por la resonancia". Aplicando este estudio a la radiotelegrafía demostró (1902) que un buen acoplamiento de dos sistemas puede, con igual poder, elevar el alcance de una estación de 20 Km. a 900 Km.

En 1903, se ocupó de los límites de la percepción de los sonidos fijando el tono máximo perceptible en 2000 vibraciones.

MARCONI
(1874)

La radiotelegrafía.

GUILLERMO MARCONI nació en Bolonia en 1874, de padre italiano y de madre irlandesa.

Estudió en la universidad de su ciudad natal, donde tuvo por profesor a RIGHI y donde recibió su título de ingeniero electricista.

Sólo tenía veintiun años cuando, en 1895, realizó sus primeros experimentos de telegrafía sin hilos, y obtuvo su primera patente el 2 de junio de 1896, siendo adoptado el invento por Inglaterra en el mismo año. En 1899, el joven ingeniero estableció comunicaciones de un lado al otro de la Mancha; en 1901, hizo otro tanto entre Cornualla y Terranova; en 1902, entre Terranova y el Canadá; en 1904, fué contratado por los Correos de Inglaterra; y en 1909, en premio de sus esfuerzos, Marconi recibió el premio Nobel.

La gloria popular ha sido adquirida definitivamente por Marconi, y muchos profanos creen sencillamente que un joven de veintiun años ha podido concebir y construir, en poco tiempo y por su propio esfuerzo, un aparato que permite transmitir señales eléctricas sin ninguna instalación intermediaria, de un extremo al otro del mundo. Algunos historiadores, al contrario, cayendo en la exageración opuesta, no reconocen a los primeros triunfos de Marconi sino méritos muy reducidos. Entre estas dos opiniones extremas cabe otra, más razonable y sin duda más justa; y para poder formarnos esta opinión equitativa, debemos conocer los rasgos principales de la historia de la telegrafía sin hilo, desde sus orígenes.

LUCIANO POINCARE, en un interesante capítulo (1), busca estos orígenes bastante lejos: recuerda la historia de la telegrafía eléctrica, la tentativa de DESAINS

(1) Física Moderna — "Un capítulo de la historia de la ciencia: la telegrafía sin hilo", L. POINCARE.

y BOURBOUZE para tomar el agua del Sena como conductor de la corriente (1870), la tentativa hecha por la Oficina Telegráfica de las Indias Inglesas para usar la Tierra como conductor, y recuerda también los interesantísimos ensayos de Sir WILLIAM PREECE (1) y de otros experimentadores para realizar una telegrafía sin hilos por inducción.

Sin ir tan lejos, puede tomarse como punto de partida la teoría de MAXWELL y llegar así directamente al invento de Marconi.

Hemos visto que, en 1864, MAXWELL estableció que, en un dieléctrico, todo campo magnético variable está acompañado por un campo eléctrico variable y recíprocamente. Las relaciones entre dichas variaciones están expresadas por las ecuaciones de MAXWELL de las cuales se deduce que estas dos perturbaciones unidas se propagan con la misma velocidad. Los estudios anteriores de HENRY (1842), HELMHOLTZ (1847), KELVIN (1853), FEDDERSEN (1859), PAALZOW (1861) y KIRCHHOFF (1864), sobre descarga oscilatoria, ya podrían haber puesto a los sabios en el camino del descubrimiento de las ondas electromagnéticas, pues las corrientes oscilatorias en circuito cerrado debían crear un campo magnético oscilatorio en el medio dieléctrico ambiente y, según lo estableciera MAXWELL, un campo eléctrico oscilatorio de idéntico período. Nadie, sin embargo, siguió ese camino. S. P. THOMPSON, en 1876, observó sin sacar mayores consecuencias, que a cierta distancia de un "self" conectado con una bobina de inducción y un condensador, estallaban chispas entre dos llaves colocadas a poca distancia una de otra. Se reclama para EDISON, para OLIVER LODGE y para ELIHU THOMSON ciertos méritos por observaciones parecidas; pero el hecho indiscutible es que el gran movimiento fué iniciado por HERTZ, el sabio comentarista de MAXWELL y el que demostrara prácticamente la existencia real del concepto teórico y matemático de MAXWELL de las perturbaciones electromagnéticas.

(1) GUILLERMO PREECE (Carnarvon 1834-1913), físico inglés, se especializó en el perfeccionamiento del teléfono y del telégrafo.

En 1887, HERTZ, inventó, pues, el primer trasmisor de ondas eléctricas y llegó a interceptar estas ondas a una distancia de pocos metros, sin imaginar, sin embargo, o aun rechazando, la posibilidad de su aplicación a la telegrafía.

Los fenómenos descubiertos por HERTZ provocaron los estudios de OLIVER LODGE (1) (Inglaterra), de RIGHI (Italia), de SARRAZIN y L. DE LA RIVE (Suiza), de BLONDLOT (Francia), de LECHER (Alemania), de LEBEDEFF (Rusia), de BOSE (2) (India) y de muchos otros.

En 1892, CROOKES propuso el empleo de las ondas hertzianas para la telegrafía e indicó una posible adaptación del manipulador y del receptor de MORSE. Pero, si bien es verdad que HERTZ, en el primer momento, pudo haber rechazado la idea de aplicar las ondas electromagnéticas a la telegrafía, no es menos cierto que esta idea surgió espontáneamente en muchos espíritus. Ya en 1892, se trasmitieron así señales a través del estrecho de Bristol, y, en 1895, durante una interrupción del telégrafo submarino entre Oban y la isla de Mull se comunicaron los despachos de esa manera.

La idea de la telegrafía sin hilos no pertenece, pues, a Marconi y veremos a continuación que los elementos constitutivos del aparato que utilizó no le pertenecen tampoco.

TESLA (3), quien estudiaba las corrientes de gran frecuencia en América cuando HERTZ realizaba su descubrimiento en Alemania, imaginó después antenas verticales.

---

(1) OLIVERIO LODGE (Penkhull, Staffordshire, 1851), físico inglés, profesor en la Universidad de Liverpool y luego rector de la de Birmingham (1900), se especializó en electricidad. Ultimamente su nombre se ha hecho familiar por su activa colaboración al movimiento espiritista.

(2) YAGADIS BOSE, sabio indio de Bengala, nació en 1858. Hizo sus estudios secundarios en Calcuta y superiores en Inglaterra. Después fué nombrado profesor en Calcuta. Como HERTZ y TESLA, se preocupó de la producción de corrientes de alta frecuencia. En 1897, obtuvo, como RIGHI y LEBEDEFF, ondas eléctricas de período bastante corto para poder repetir con ellas experimentos de reflexión, refracción, difracción, polarización, etc., casi como ondas luminosas.

(3) NICOLAS TESLA (Smiljan, Croacia, 1857), físico austriaco naturalizado americano, estudió en Praga y en Gratz y pasó a los Estados Unidos a la edad de 27 años (1884). Se ocupó especialmente de

En 1870, VARLEY observó que el polvo de carbón cambia de conductibilidad si se hace variar la fuerza electromotriz que lo atraviesa. HUGHES, en 1878, estudió los contactos imperfectos y descubrió así el micrófono. En 1884, el italiano CALZECCHI ONESTI, profesor del Liceo de Termo, observó que la resistencia eléctrica de limaduras metálicas disminuye durante la descarga de una bobina de inducción. En 1890 y 1891, BRANLY (1) volvió a descubrir la misma propiedad; mostró que existe una resistencia de paso entre dos superficies metálicas a veces considerable aunque estas superficies estén perfectamente pulimentadas; que esta resistencia disminuye cuando estalla una chispa cualquiera, aun en una pieza vecina con paredes espesas; observó que esta acción no es suprimida por la suspensión de las limaduras en un dieléctrico, como la parafina, por ejemplo; vió que las limaduras vuelven a oponer una nueva resistencia después de un ligero choque.

Pero debe notarse que BRANLY, a pesar de haber ampliado las observaciones de CALZECCHI y de haber observado que el fenómeno puede ser obtenido por influencia de una corriente continua de alta tensión, no parece haber descubierto la influencia de las ondas electromagnéticas sobre las limaduras. Esta observación fué realizada simultáneamente, en 1894, por varios físicos: los suizos LE ROYER y BERCHEM y los ingleses CROFT y OLIVER LODGE, y, con esta aplicación, el tubo de BRANLY se volvió un detentor de ondas y permitió la construcción del primer receptor de telegrafía sin hilos.

---

electrotécnica. En 1890, realizó sus célebres experimentos y ejecutó los aparatos necesarios a la producción de corrientes inducidas por las descargas oscilantes de alta frecuencia (GANOT, p. 815). D'ARSONVAL modificó un poco el dispositivo de Tesla, colocando una botella de Leyden de cada lado del self, y de esta manera observó que las corrientes de alta frecuencia son inofensivas.

(1) EDUARDO BRANLY (Amiens 1846), dejó la enseñanza oficial para ser profesor de física del Instituto Católico de París, y sufrió por esta razón de parcialidad de parte de los poderes, que deberían haberlo ayudado como Inglaterra ayudó a MARCONI. Su invento del cohesor, su cooperación a todo lo que se relaciona con la telegrafía sin hilos; su invento de la telemecánica sin hilos (1905) y otros interesantes trabajos teóricos de electricidad, forman la importante obra científica de Branly.

OLIVER LODGE dió al aparato que BRANLY llamaba "tubo de limaduras", el nombre de "cohesor", porque consideraba que las radiaciones aumentan en él la cohesión entre los granos de limadura. Y, en las conferencias públicas en las cuales hacía conocer el resultado de sus experiencias, este físico inglés mostró cómo cada perfeccionamiento de los aparatos permitía aumentar la distancia a las cuales se efectuaban las recepciones de ondas.

LODGE explicaba el funcionamiento del cohesor afirmando que la chispa hace saltar una parte del óxido que recubre cada grano de limadura produciéndose así el contacto del metal puro; BRANLY buscaba esta explicación en la modificación del medio eléctrico; ARONS (1898) observó con el microscopio que las limaduras se sueldan unas a otras por pequeños hilos que se rompen al menor choque; BRANLY refutó esta explicación experimentando con limaduras en suspensión en parafina, pero ARONS demostró que, en este caso, la volatilización de los granos de limadura establece el contacto entre ellos. Bien pronto estas investigaciones acerca del funcionamiento del cohesor perdieron gran parte de su interés pues los experimentadores se dieron cuenta que el tubo de BRANLY adolecía de grandes defectos debidos a la variabilidad de su sensibilidad.

Un nuevo detector debía pronto ocupar el lugar del cohesor. En 1889, OLIVER LODGE había observado ya la producción de sonidos en el teléfono por las ondas electromagnéticas; en 1892, BIRKELAND utilizó el teléfono como detector; pero fué en 1897, o sea después de los célebres experimentos de MARCONI, que TURPAIN perfeccionó y generalizó el uso del teléfono con este fin.

En 1895, ALEJANDRO POPOF (1), en Rusia, instaló un puesto receptor de telegrafía sin hilos compuesto por un cohesor con su circuito y con un electroimán y un martillo de descohesión, y puso este receptor en comunicación

(1) ALEJANDRO POPOF era profesor de la Escuela de Torpederos de Cronstadt y recién iniciaba su estudio de los trabajos de Sir OLIVER LODGE.

con un pararrayo a fin de descubrir así a gran distancia las descargas atmosféricas anunciadoras de tormentas. POPOF entendió perfectamente que este puesto receptor con cohesor y antena permitiría "emplear las vibraciones eléctricas rápidas en la trasmisión de señales tan pronto como se encontrara el medio de emitir dichas vibraciones con potencia suficiente". Pero POPOF abandonó estas investigaciones para dedicarse al estudio de los rayos X, recién descubiertos por ROENTGEN, y no volvió a ocuparse de radiotelegrafía sino después del triunfo de Marconi.

Este triunfo no tardó, pues fué en ese preciso momento que Marconi, joven estudiante de Bolonia, discípulo de RIGHI, se interesó en las ondas electromagnéticas que las célebres conferencias de LODGE habían vulgarizado. Realizó sus experiencias en la casa de campo de su padre en los alrededores de Bolonia empleando el dispositivo de LODGE: como trasmisor, una bobina de inducción; como receptor, un tubo de limaduras. Marconi se fué a Inglaterra y, justo un año después de la iniciación de sus primeros experimentos, obtuvo allí, en junio de 1896, una patente por "perfeccionamiento en la trasmisión de impulsiones y señales eléctricas y aparatos correspondientes".

El aparato consistía entonces, para el trasmisor, en una bobina de inducción y un oscilador de RIGHI; y para el receptor en un cohesor (en el cual se había hecho el vacío) provisto de dos conductores terminados por dos placas metálicas ,tal como lo habían perfeccionado LODGE y BOSE, y puesto en contacto con la tierra. No había, pues, nada muy original en todo esto, pero la acertada reunión de elementos conocidos, la habilidad y el ingenio con que fueron realizados los menores detalles de la instalación y de la experimentación, dieron resultados incomparablemente superiores a todos los que habían sido alcanzados anteriormente, y la telegrafía sin hilos dejó bien pronto de ser un aparato de laboratorio para ser considerado por todos como el invento que debía revolucionar la telegrafía y suplantar los procedimientos alámbricos.

Marconi encontró un valioso apoyo en Sir WILLIAM

PREECE, director e ingeniero jefe del Servicio Telegráfico de Inglaterra, inventor a su vez del telégrafo inalámbrico por inducción a baja frecuencia que hemos citado más arriba. PREECE acogió con interés las primeras tentativas y los proyectos de Marconi, cuya obra concretó en estas palabras: "Los antecesores y rivales de Marconi conocían los huevos, pero él les enseñó a colocarlos de punta..." Este honesto sabio confesó también la superioridad del invento de Marconi sobre su propio invento y puso a disposición del joven sabio ítalo-británico su propia ayuda y los materiales e instalaciones del servicio telegráfico.

A fines de 1896, Marconi realizó ensayos entre la Oficina Central de Correos de Londres y una estación colocada a.... 90 metros de distancia. Empleó entonces espejos reflectores tanto en el emisor como en el receptor, utilizando ondas cortas de menos de un metro y la distancia entre la estación trasmisora y la receptora pudo ser aumentada a más de tres kilómetros. Luego Marconi abandonó los reflectores, pero unió el oscilador con la tierra y con un hilo vertical terminado por una placa suspendida en el aire, queriendo evitar así "la intercepción de las ondas por los obstáculos como las casas y las colinas..." Había introducido pues en la telegrafía sin hilos la idea fecunda de la antena de emisión y de la posición vertical del oscilador. Gracias a este perfeccionamiento, cuando WILLIAM PREECE presentó a la Institución Real el invento de Marconi, en 1897, pudo afirmar que este telégrafo sin hilos había trasmitido mensajes a 15 kilómetros de distancia entre Lavernock Point y Brean Down, a través del Canal de Bristol.

Había triunfado Marconi y la telegrafía sin hilos estaba inventada. Italia llamó al joven inventor para que prosiguiera sus investigaciones en su patria. En Inglaterra se formó una sociedad de explotación del invento, sociedad de la cual Marconi fué nombrado Director, exigiendo el joven sabio que extendieran todos los derechos de sus patentes a Italia, sin retribución alguna.

El invento de Marconi fué rápidamente propagado, y también perfeccionado, en muchos países. En Alemania, fue-

ron SLABY, TIETZ y el conde ARCO quienes realizaron los principales esfuerzos, desde el principio del año 1897; en Rusia, en el mismo año, fué ALEJANDRO POPOF, el precursor de Marconi; en Estados Unidos, también en 1897, FESSENDEN inició con numerosas patentes desprovistas de valor práctico una obra que más tarde debía adquirir mayor importancia; en Francia, en fin, desde 1898, se destacaron los perfeccionamientos provocados por las investigaciones de DUCRETET, de los hermanos LECARME y del teniente de navío TISSOT. Fueron modificándose poco a poco los distintos elementos de los aparatos emisores y receptores de ondas y estos perfeccionamientos prácticos fueron el resultado de arduos estudios teóricos sobre puntos de tanta importancia como la función de las antenas y de la tierra y la propagación de las ondas.

A los cohesores de CALZECCHI ONESTI (1884), de BRANLY (1890), de LODGE (1894), de POPOF (1896) y de Marconi (1897) se sumaron los de ARMSTRONG y ORLING (1897), de BLONDEL (1899) y el de la marina italiana (1900). Pero, en el siglo XX, todos esos cohesores fueron bien pronto relegados a la historia ante los progresos tan rápidos alcanzados especialmente gracias al detector electrolítico del capitán (más tarde general) FERRIE (1); al detector de pies de acero descansando en una lámina de metal inventado por BRANLY (1902); al detector magnético que Marconi realizó en 1902, aprovechando el descubrimiento de RUTHERFORD de la influencia de las ondas hertzianas sobre las propiedades magnéticas del acero; al detector por contacto de cristales (galenas, etc.) desprovisto de corriente, imaginado por el americano PICKARD (2) en 1907; y gracias, especialmente, a las válvulas termoiónicas inventadas por FLEMING y perfeccionadas por DE FOREST (1907). (3)

(1) GUSTAVO FERRIE (Saint Michel de Maurienne, 1868), físico y militar francés, miembro de la Academia de Ciencias, reorganizó la telegrafía sin hilos durante la guerra.

(2) GREENLEAF W. PICKARD (Portland, Maine, 1877), electricista americano, fué uno de los primeros en trasmitir la palabra por radiotelefonía.

(3) Física de WATSON, p. 863.

Las antenas fueron objeto de estudios especiales y de grandes perfeccionamientos. Primero, sólo se les asignó una función de trasmisión de las ondas emitidas por la bobina, hasta que ASCOLI (1897) y luego MAX ABRAHAM (1898 y 1901) establecieron las leyes fundamentales de la trasmisión y de la función de la antena.

La función de la conexión a tierra, inaugurada por Marconi, dió lugar también a numerosas explicaciones teóricas entre las cuales se destaca la de BLONDEL (1898) en que consideraba la tierra como un conductor perfecto que forma con la antena un oscilador de HERTZ, de potencial y longitud duplicados, teoría de la cual se deduce la fórmula fundamental de trasmisión.

En 1897, LODGE y luego Marconi adoptaron en el receptor el procedimiento del circuito inducido que consiste en colocar el cohesor en un circuito cerrado que es excitado por inducción por el circuito de la antena unida a tierra por un "self".

En 1898, BRAUN introdujo el uso de circuitos acoplados en la emisión, en lugar de la excitación directa a la antena, produciéndose así la energía oscilatoria en un circuito cerrado y trasmitiéndola por inducción a la antena, lo que permitía luchar contra el amortiguamiento y utilizar longitudes de ondas mayores.

No podemos seguir los progresos de la radiotelegrafía, que se extienden en el siglo XX y que pertenecen, además, simultáneamente, a muchos investigadores anónimos, empleados de las grandes compañías radiotelegráficas como la "Telefunken Alemana", que explotaba los inventos de MAX C. WIEN o la "Radiotelegráfica" francesa que compró las patentes de VON LEPEL.

La historia de la radiotelegrafía forma ya un capítulo aparte de la historia de la física que ha adquirido gran divulgación debido a los muchos aficionados que se interesaron en los sensacionales triunfos de este invento y de su desarrollo técnico ulterior.

Debe agregarse a esta historia, el descubrimiento y la evolución de la radiotelefonía y deben señalarse también

los esfuerzos realizados desde los principios de la radiotelegrafía para conseguir la transmisión, por idéntico procedimiento, de la energía eléctrica con fines industriales (1)

La historia imparcial de la radiotelefonía es actualmente irrealizable, especialmente en cuanto a los últimos perfeccionamientos en los cuales es difícil separar los verdaderos descubrimientos científicos originales de las engañosas propagandas de las firmas comerciales. La historia de la radiotelefonía podría arrancar de los trabajos de GRAHAM BELL, a los cuales nos hemos referido en la biografía respectiva. Antes de BELL, debe citarse a SCHARTZ, que, en 1805, observó el sonido producido por el contacto de metales a distintas temperaturas; a TREVELYAN, que estudió este fenómeno en 1829; a SCHAFFGOTCH y a TYNDALL, por su estudio de los sonidos de las llamas cantantes; a MERCADIER, quien siguiendo estos estudios, observó que una radiación cualquiera, y la luz en particular, produce un sonido en una lámina en que se incide; a PREECE, que extendió los experimentos de MERCADIER y de TYNDALL. BELL, y al mismo tiempo TAINTER, estudiaron, hacia 1880, los sonidos provocados por las radiaciones luminosas en diversas circunstancias.

Como lo hemos visto en sus biografías, BELL y MERCADIER realizaron dos de los más eficaces "radiófonos" directos o sea aparatos que transforman directamente el sonido en radiación y viceversa. El aparato de BELL era un fotófono o sea con la transformación: sonido-luz-sonido, mientras que el aparato de MERCADIER era un termófono: sonido-calor-sonido. Aunque estos aparatos dieran resultados interesantes, no pueden ser considerados sino como lejanos predecesores de nuestra radiotelefonía, que deriva directamente de los estudios realizados a favor de la radiotegrafía y que tiene por consiguiente sus mismos orígenes, con HERTZ, BRANLY y Marconi.

---

(1) "Le Problème de la transmission de l'énergie á distance". Por L. POINCARE (Revue Générale des Sciences, 1898, p. 59).

El arco cantante descubierto por DUDELL (1900) ya aparece como el primer tipo de radioteléfono "hertziano" y fué perfeccionado por SIMON, por REICH y más aún por el físico danés POULSEN (1905) (1). Pero faltaba a todos los buenos elementos de estos aparatos "algo" que solucionara los enormes obstáculos que encontraban en la emisión y en la ampliación de la recepción. Ese "algo" es la válvula termoiónica de DE FOREST (1910), que acabamos de citar entre los detectores radiotelegráficos y que es trasmisora, receptora y amplificadora.

---

(1) WATSON, Curso de Física, p. 865.

BREVE RESEÑA

DE LA EVOLUCION DE LOS PRINCIPALES CAPITULOS DE LA FISICA (1)

LIBRO I

MECANICA — HIDROSTATICA — NEUMATICA

CAPITULO I

MECANICA

1. *Materia.* — Desde la más alta antigüedad todos los pensadores han tratado de encontrar el origen de la materia. Toda la física no es sino el conjunto de los estudios que tienden a resolver este problema tal vez insoluble

En general, los antiguos buscaron la esencia de la materia en algunos grandes principios o elementos: el aire para Anaxímenes, el agua según Tales, el fuego en Heráclito, la tierra en Ferécides y el aire, el agua, el fuego, la tierra y el éter juntos, según Aristóteles. Anaximandro consideraba el fuego como elemento necesario para la transformación de la tierra en agua y del agua en aire; pero según él, el "infinito" es el origen creador de la materia.

(1) En esta reseña, breve e incompleta, nos hemos propuesto seguir el orden general de los tratados elementales de física, en lugar del orden histórico seguido en la parte anterior de la obra. Sólo hemos clasificado datos fundamentales contenidos en esta obra, de modo que el estudio más detallado de cualquiera de los puntos mencionados deberá buscarse en las biografías de los autores correspondientes.

Heráclito buscaba el origen de la materia en el fuego y como consideraba al fuego como movimiento, llegaba a la conclusión de que la materia no es sino movimiento.

No seguiremos el estudio de esos conceptos filosóficos de la materia que carecen completamente de valor científico y no pertenecen propiamente a la física.

2. *Atomos.* — En el siglo V, antes de Jesucristo, Leucipo y Demócrito crearon la teoría atomística de la materia, de la que fueron principales partidarios: Pitágoras; Anaxágoras, con sus "homoemerias", pequeños mundos completos que nos hacen pensar en el concepto moderno de los electrones; Epicuro, que propagó la teoría de Leucipo y Demócrito e imaginó el término de "átomo"; Platón, que tuvo una teoría propia; Lucrecio, que hizo conocer en su famoso poema las doctrinas de Epicuro; Herón, que llama a los átomos "somata".

Aristóteles se opuso al concepto atómico y creía en la continuidad.

El célebre químico árabe Geber negaba también el atomismo. F. Bacon (1620) y Basso (1621) eran favorables a la teoría atómica. Gassendi (1640) estudió a Epicuro y defendió la teoría atomística con los conceptos de moléculas y de átomos, pero llegó hasta concebir átomos de calor, de frío, de sonido, de gusto y átomos de luz como en la teoría de la emisión. Boyle admite el átomo y lo considera materialmente idéntico en todos los cuerpos y animado de movimiento propio.

Descartes, al contrario, consideraba que nuestra razón se opone a la admisión de un límite en la divisibilidad de la materia. Leibniz tampoco admitió la idea del átomo material, pero imaginó la "mónada", átomo de energía.

La historia de la teoría atómica moderna empieza con Dalton, quien, de 1801 a 1808, sostuvo una lucha contra Berthollet, para rejuvenecer la antigua teoría atómica, mientras que el químico francés defendía la teoría de los equivalentes.

En el siglo XIX, la teoría del calor, la teoría cinética de los gases y la teoría electrónica llevan a los físicos a emitir nuevas y atrevidas hipótesis acerca de los átomos.

En 1849, Rankine proponía una nueva teoría de la materia como consecuencia del nuevo concepto acerca del calor; y consideraba que las moléculas giran, formando torbellinos y que el calor sensible aumenta su velocidad mientras que el calor latente aumenta su órbita.

Kelvin también propuso una hipótesis de "átomos torbellinos" pero abandonó él mismo esa idea.

Kroenig y Clausius volvieron a emitir hipótesis como consecuencia de su teoría cinética: Kroenig imaginó átomos elásticos, que oscilan en línea recta con una velocidad constante; Clausius imaginó movimientos de rotación de los átomos y admitió una misma velocidad para las moléculas de todos los gases.

En la teoría electrónica, en fin, vemos las imágenes del átomo constituído por un sol positivo alrededor del cual giran planetas negativos, o del átomo núcleo positivo dentro del cual giran los electrones, o todavía del átomo esfera positiva con capas concéntricas negativas como las perlas o las cebollas...

3. *Vacío.* — Leucipo, Demócrito, Epicuro, todos los defensores de la teoría atomística, admitían la existencia de un vacío absoluto. Herón decía que el vacío continuo sólo puede existir artificialmente, pues en la naturaleza sólo existe el vacío entre las partículas materiales. Platón negaba la existencia natural del vacío, que consideraba posible artificialmente.

Descartes, basándose siempre en la razón, niega la posibilidad del vacío absoluto, de la nada, y considera que lo que llamamos vacío es un espacio lleno del elemento sutil: el éter.

Guericke, en fin, dejó estas discusiones filosoficas sobre el vacío absoluto y se ocupó experimentalmente del vacío físico, con su invento de la bomba neumática.

4. *Propiedades de la materia.* — Hasta el siglo XVIII, todas las propiedades evidentes de la materia daban lugar a discusiones filosóficas sobre sus causas; pero los sabios se cansaron de estas suposiciones estériles y se abocaron a la observación científica de las propiedades de la materia. Es así que la porosidad provocó durante mucho tiempo numesas discusiones entre atomistas y no atomistas acerca del vacío entre las partículas; y es así que, mientras los cartesianos atribuían la elasticidad al éter, que según ellos formaba una especie de resorte entre las partículas materiales, otros la atribuían a pequeños torbellinos y otros al aire.

Elasticidad. — Hooke (1679) formuló, el primero, un concepto científico acerca de la elasticidad y Gravesande (1734) fué el primero en estudiar experimentalmente la elasticidad, dedicándose a la elasticidad de tracción. En el siglo XVIII, Euler y D. Bernoulli estudiaron la elasticidad en sus estudios de acústica. En el siglo XIX, se destacaron en el estudio de la elasticidad: Young (véase), Laplace, Poisson, Cauchy, Wertheim, Weber, R. Kohlrausch, Lamé, Saint-Venant, quienes establecieron las fórmulas fundamentales sobre los coeficientes de las diferentes formas de elasticidad y observaron fenómenos tan curiosos como la "elasticidad retardada" descubierta por Weber (1835) y estudiada por Kohlrausch (1863). La elasticidad de torsión fué estudiada ampliamente por Coulomb (1779), inventor de la balanza de torsión. Savart (1829) y Wertheim (1857) generalizaron las leyes de Coulomb.

5. *Continuidad entre los estados sólido, líquido y gaseoso.* — Los experimentos de Tresca, comentados matemáticamente por Saint-Venant, y los experimentos de Spring demostraron a fines del siglo XIX, que, a presión suficiente, los sólidos tienen las mismas propiedades que los líquidos. Por otra parte, en la misma época, Andrews, van der Waals y sobre todo van't Hoff demostraron la continuidad entre el estado líquido y el estado gaseoso. (Véase el capítulo del Calor).

6. *Aparatos de medida.* — Las dimensiones y el peso de los cuerpos han sido determinados, desde la más alta antigüedad, por instrumentos apropiados, y los escritos más antiguos mencionan la balanza y unidades de medida.

Los hechos más importantes que pueden recordarse acerca de la balanza son los perfeccionamientos aportados a este aparato por los físicos del siglo XVIII y la primera teoría de la balanza por Wallis. Entre otros instrumentos de medida debe recordarse el invento del "nonio" por Vernier, en 1631, atribuído también a Núñez.

Otro importante hecho en la historia de la metrología es la observación de Huyghens sobre la utilidad del péndulo para fijar la unidad de longitud comprobable con el tiempo de oscilación, observación cuyo valor pasó inadvertido hasta el siglo XVIII. Bouguer y La Condamine (1739) al medir el grado de meridiano en el ecuador y al determinar la longitud del péndulo de segundo en esa latitud (0°) volvieron a expresar el deseo de que esa longitud fuese utilizada como unidad natural de medida. En 1790, la Asamblea Constituyente de Francia fijó como unidad: el metro, diez millonésima parte del cuarto del meridiano terrestre.

Michelson, a fines del siglo XIX, eligió como patrón invariable de longitud la longitud de onda de la luz, como ya lo había preconizado Babinet en 1829, y volvió así a establecer como referencia de medida de longitud un fenómeno natural invariable, más seguro que el meridiano.

7. *Relojes.* — El cuadrante solar, atribuído a veces al astrónomo caldeo Beroso, era conocido en Caldea, Egipto, Grecia y Roma. Es posible también que los caldeos, egipcios y chinos hayan conocido las clepsidras antes de Ctesibio, a quien Vitruvio designa como su inventor.

En Grecia, se emplearon los relojes de arena; pero las clepsidras fueron generalmente empleadas hasta la Edad Media. Los primeros relojes mecánicos aparecieron probablemente en el siglo XII. En el siglo XV se fabricaban relojes de pesas con aceleración moderada por paletas; en el siglo XVI se conocieron los primeros relojes de bolsillo con

resorte. Huyghens, tal vez después de Galileo, aplicó el péndulo a los relojes (1656), e introdujo (1665) el muelle espiral en los relojes de bolsillo, idea que Hooke había tenido ocho años antes (1657), sin poderla realizar. El escape de áncora se debe a Hooke o a Clément y el escape de cilindro a Graham, el inventor del péndulo compensador de mercurio.

Durante mucho tiempo Inglaterra pareció tener el monopolio de la construcción de los cronómetros; pero algunos hábiles constructores como los Breguet y los Leroy compitieron en Francia con los afamados relojeros ingleses.

8. *Fuerza, masa y trabajo* (véase Euler). — El concepto de fuerza no llegó a ser expresado con precisión por los antiguos, que confundían la fuerza con el movimiento o con la energía y sólo veían en ella toda causa de cualquier acción.

Keplero (1659) fué el primero que diera cierta precisión al concepto de fuerza ("vis") que consideró como la causa del movimiento ("causa motus") y estableció que el movimiento, efecto, debe servir de medida de la fuerza, causa; pero media el movimiento por su velocidad. Galileo confundía con frecuencia "fuerza" con "peso", pero llegó a distinguir la diferencia entre el "impulso", que puede ser medido por la velocidad inicial y la "fuerza", que es determinante de aceleración. Newton tuvo conceptos menos precisos que los de Galileo acerca de la fuerza. Tanto Keplero como Galileo y Platón o Arquímedes consideraron la fuerza como un espíritu ("anima") desprendido de la materia.

Euler (1739) fué el primero que dió una expresión concisa de la fuerza, expresión que Lagrange precisó más aún.

El concepto de masa se desarrolló con mayor lentitud aún. Galileo, Descartes y Newton hacían frecuentes confusiones entre masa, peso y materia, pero Huyghens (1668) en su "teoría de los choques" deslindó mejor el concepto. Euler (1739) consideró la masa como el "factor propio"

de los cuerpos en movimiento. Biot (1828) dió la definición de masa como suma de las partículas y Gauss (1833) dió su definición racional. Este concepto de masa permitió a su vez precisar más aún el concepto de fuerza.

La noción de trabajo es más moderna todavía que las de fuerza y masa y precede inmediatamente el concepto de energía del siglo XIX. Keplero, Galileo y Euler trataron de aclarar la idea de trabajo, pero Young (1807) fué el primero en relacionarlo con la fuerza viva, mientras que Poncelet (1829) dió mayor precisión al concepto de trabajo, que debía desarrollarse con el estudio de la termodinámica en la segunda mitad del siglo XIX y con su vasto estudio de la energía. Rankine (1850) especificó bien la diferencia entre "energía potencial" y "energía cinética", término que W. Thomson suplantó al de "fuerza viva".

9. *Principio de las velocidades virtuales.* — La historia del principio de las velocidades virtuales ha sido seguida en esta obra a través de las obras de Herón, Vinci, Stevin, Galileo, Juan Bernoulli, Maupertuis, Euler, D'Alembert y Lagrange (véase).

El principio de las velocidades virtuales era conocido por los antiguos, y Herón lo expresó para explicar el funcionamiento de las máquinas simples. Leonardo de Vinci lo volvió a enunciar. "Galileo lo estableció como propiedad general del equilibrio de las máquinas", dice Lagrange "y dedujo de él los principales teoremas de la hidrostática"; pero Stevin ya había reconocido su validez en su estudio del equilibrio de sistemas de poleas. En 1717, Juan Bernoulli dió la expresión general del principio. Lagrange, en su vasta obra, que es como el fundamento de la mecánica matemática, dió a este principio mayor importancia aún y un enunciado amplio y preciso (véase Lagrange).

10. *Otros principios generales* (véase Lagrange). — Cuando, en el siglo XVIII, se sometieron la física y la mecánica al riguroso análisis de la Matemática Nueva, lleváronse a la madurez principios ya entrevistos desde la anti-

güedad y Lagrange tuvo el mérito de recoger esos principios, ampliarlos y coordinarlos, para colocarlos a la base de lo que desde entonces se llamó la "Mecánica Clásica".

El principio de la conservación de la fuerza (véase Descartes, Leibniz, Huyghens y Lagrange), se inició en la obra de Galileo en su estudio del plano inclinado, pero no está explícitamente expresado. Descartes expresó el principio de la conservación de la cantidad de movimiento (mv). Huyghens, en su estudio del choque (1669), estableció con claridad que "la suma de los productos de la magnitud de cada cuerpo duro multiplicada por el cuadrado de su velocidad es la misma antes y después del choque". Confirmó este criterio en su estudio sobre el péndulo compuesto (1690).

Leibniz (1686) ya se había opuesto al criterio de Descartes acerca de la conservación de la cantidad de movimiento y había expresado que la medida de la potencia de un cuerpo en movimiento es su fuerza viva (mv^2), haciendo además la distinción entre fuerza viva (energía cinética, de hoy) y la fuerza muerta (energía potencial).

Juan Bernoulli (1742) expresó con claridad el principio de la conservación de la fuerza viva de Leibniz, que su hijo Daniel ya había utilizado en la Hidrodinámica (1738). Lagrange en fin (1788) dió toda su amplitud al principio del cual dedujo el "principio de conservación del trabajo", y que colocó a la base de la mecánica.

El "principio de la conservación de la energía", que estudiamos en termodinámica, es otra derivación del principio de las fuerzas vivas desarrolladas en el siglo XIX.

El "principio de conservación del centro de gravedad", otro punto de apoyo de la obra de Lagrange, puede deducirse de las obras de Arquímedes, de Huyghens, de Newton y de D'Alembert, pero Lagrange lo generalizó a fuerzas de direcciones cualesquiera.

El "principio de la conservación de los planos", tercer punto de apoyo de la obra de Lagrange, se deduce del estudio de Keplero (1609) del movimiento de los planetas, fué aplicado por Newton (1687), fué enunciado por Euler

(1745), por D. Bernoulli (1746) y, en forma más reducida y como "principio de la acción", por d'Arcy (1753) hasta que Lagrange (1788) le diera su forma clásica.

El "principio de la menor acción" fué fundado por Maupertuis (1744) como lo demostró Euler con su intervención en la célebre discusión Koenig-Maupertuis (véase: Maupertuis y Euler). Lagrange dió mayor aplicación al principio de la fuerza viva. Este principio se enlaza en fin con el "principio de D'Alembert" (1742) cuyos antecedentes se encuentran en las obras de Huyghens, Jacobo Bernoulli, Newton y L'Hopital y cuyo desarrollo también se debe a Lagrange. Están relacionados en fin con los dos anteriores el "principio del menor esfuerzo" de Gauss (1858) y el "principio de la acción variable" de Hamilton (1834).

11. *Teoría del potencial* (véase Euler y Lagrange). — En 1736, Euler ya introdujo la noción del potencial de la cual Lagrange es considerado generalmente como el creador, por la vasta generalización que supo darle.

12. *Paralelogramo de fuerzas.* — El teorema de la composición de las fuerzas concurrentes ya fué resuelto, en 1587, por Stevin, quien estableció que tres fuerzas se equilibran cuando pueden ser representadas en magnitud y dirección por los tres lados de un triángulo; y este enunciado sólo se diferencia en su forma del teorema del paralelogramo de fuerzas. Varignon enunció más claramente el teorema de Stevin y explicó con él la teoría de las máquinas; Roberval (1668) y en fin Newton (1687), Mac Laurin (1742) y Euler (1765) contribuyeron al enunciado preciso y definitivo de la composición de las fuerzas.

13. *Máquinas simples.* — La palanca fué conocida de todo tiempo. La balanza, o palanca de brazos iguales, fué usada hace más de tres o cuatro mil años, como lo demuestran las Santas Escrituras, los escritos de Homero y toda la literatura antigua.

Arquitas (400 años antes de Jesucristo) conocía también la rosca y la polea.

Aristóteles enunció de un modo casi general la ley de la palanca, pero fué Arquímedes, el verdadero fundador de la estática, quien dió su teoría. Benedetti (1585) dió la teoría de la palanca curvilínea; Stevin, Galileo y Huyghens volvieron a emitir teorías generales de la palanca, pero en ellas, como en la de Arquímedes, subsiste la hipótesis de que el valor de una fuerza es expresado por el producto del peso por el espacio recorrido o sea por el "momento estático".

Se atribuye a Vinci el invento del dinamómetro, y a Benedetti la primera teoría de la cuña.

Pappo, en el siglo IV, parece haber sido el primero en estudiar las condiciones de equilibrio del plano inclinado, que Stevin (1634) estudió teóricamente basándose en la maravillosa hipótesis de la imposibilidad del movimiento perpetuo, y que Galileo estudió como consecuencia de la teoría de la palanca (1638).

14. *Centro de gravedad*. — Los antiguos ya se preocuparon de la determinación del centro de gravedad de los cuerpos: Arquímedes estableció la posición del centro de gravedad del paralelogramo, del triángulo, del trapecio, de los conoides.

Pappo también se ocupó de la posición del centro de gravedad en las formas geométricas.

Vinci (siglo XV) determinó su posición en la pirámide.

Torricelli dió más importancia al estudio del centro de gravedad que Galileo, y lo aplicó a la obra de su maestro y especialmente en lo relativo a las condiciones del equilibrio estable, que es la posición en que el centro de gravedad ocupa un lugar más bajo que en las posiciones cercanas.

Guldin (1635), en el siglo XVII, estableció su conocido teorema de mecánica, cuyo contenido ya podría encontrarse parcialmente en Pappo.

15. *Choques* (véase Wallis, Wren y Huyghens). — En 1638, Marci de Kronland, G. Baliani y Galileo publicaron simultáneamente estudios sobre el choque, pero Ga-

lileo parece haberse ocupado anteriormente con más detención de este fenómeno, en una obra desaparecida.

En 1644, Torricelli estudió los choques siguiendo probablemente el mismo método que su maestro Galileo; Descartes (1644) y Borelli (1666) estudiaron la misma cuestión en esa época. Pero la fecha más importante es la de 1668, en que Wallis, Wren y Huyghens presentaron casi simultáneamente sus teorías de los choques a la Sociedad Real de Londres. Estos tres sabios establecieron el principio de la conservación de la cantidad de movimiento en todos los choques. Wallis, que estudió sólo el choque de los cuerpos no elásticos, estableció las fórmulas clásicas, mientras que Wren y Huyghens, que estudiaron el choque de cuerpos perfectamente elásticos, establecieron las fórmulas del caso y afirmaron la conservación de la fuerza viva.

En 1676, Mariotte imaginó el aparato clásico para la comprobación de las leyes descubiertas por Wallis, Wren y Huyghens.

En 1746, Euler hizo un estudio analítico del choque que trató de comprender en el estudio general de la elasticidad, método que fué seguido y realizado por Poisson (1816) y Cauchy (1826).

En todos estos estudios, el choque fué considerado como instantáneo; Newton, consideró por primera vez la duración del choque, pero la atribuía equivocadamente a la imperfecta elasticidad de los cuerpos. Hodgkinson (1834) revisó el estudio de Newton; Pouillet (1845) y Schneebeli (1871) se ocuparon de la misma cuestión; pero fué Hertz (1882) quien estudió más ampliamente la determinación teórica de la duración del choque, cuestión aun no resuelta en nuestros días.

Hertz estudió el problema para las presiones grandes, ejercidas en un punto pequeño y con poca velocidad. Hizo así la curiosa observación de que el choque de dos esferas del tamaño de la Tierra, con una velocidad relativa de un centímetro por segundo, duraría 27 horas. Tait estudió la misma cuestión en 1890.

16. *Movimiento — Inercia — Aceleración.* — La dinámica es una ciencia moderna: Galileo fué su fundador, Huyghens el continuador de Galileo, y Newton el que dió a los grandes principios de la dinámica la forma que conservaron hasta nuestros días.

Aristóteles enseñó que el movimiento artificial se gasta, que para obtener un movimiento uniforme debe agregarse fuerza constantemente al cuerpo.

Benedetti (1585) ya sabía que el cuerpo en movimiento conservaría siempre su velocidad inicial si nada se le opusiera. Keplero fué el primero que rechazó terminantemente al concepto de Aristóteles; conocía el principio de la inercia y lo enunció en su primera parte: El cuerpo en reposo no adquiere movimiento de por sí.

Galileo estableció completamente el principio de la inercia y el principio de la independencia de las fuerzas; estableció la composición de los movimientos: estudió el movimiento acelerado con la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles; combatió en fin, las equivocadas doctrinas peripatéticas, como ya se habían atrevido a hacerlo, en los siglos XIV, XV y XVI, algunos de sus predecesores, entre los cuales deben citarse Buridán, Oresme, Alberto de Sajonia y Fray Domingo Soto.

Newton volvió a enunciar estas grandes leyes del movimiento y les agregó, en 1687, el principio de la acción y de la reacción.

17. *Fuerza centrífuga.* — En 1585, Benedetti tenía ya un concepto muy exacto de la fuerza centrífuga, cuya observación simple se encuentra ya en Anaxágoras. En 1632, Galileo se ocupó de la fuerza centrífuga y afirmó que para las dimensiones de la Tierra esa fuerza es mucho menor que la pensantez.

En 1673, Huyghens estableció la fórmula de la "vis centrífuga":

$$f = \frac{v^2}{r} = \frac{4\,\pi^2\,r}{t^2}$$

y le atribuía el achatamiento de la Tierra en los polos, idea que Newton (1687) amplió considerablemente, agregándole el estudio de las fuerzas centrípetas. (Véase Galileo).

18. *Caída de los cuerpos.* — Aristóteles creía que la velocidad de un cuerpo cadente es directamente proporcional al peso del cuerpo y al espacio recorrido, que su movimiento es uniforme porque es un movimiento natural en que la fuerza (la gravedad) ejerce constantemente su acción, pero que el aire imprime al cuerpo un aumento de velocidad.

Euclides sin embargo, afirmaba que la velocidad de caída de un cuerpo es tanto mayor cuanto más raro es el ambiente. Epicuro y Lucrecio tal vez sabían que, en el vacío, todos los cuerpos caen con la misma velocidad.

Pero, hasta Galileo, la errónea teoría de Aristóteles fué universalmente admitida y, cuando Benedetti, en 1858, precedió a Galileo, corrigiendo los errores de Aristóteles y emitiendo una teoría genial de la caída de los cuerpos, su trabajo fué completamente desconocido por sus contemporáneos.

Galileo (1602) destruyó la teoría peripatética; estableció que la velocidad de caída es la misma para todos los cuerpos cualquiera sea su peso, que esta velocidad es proporcional al tiempo y que el espacio es proporcional al cuadrado del tiempo. Demostró que el aire, lejos de aumentar la velocidad de caída, la disminuye y que el movimiento no es naturalmente uniforme sino naturalmente acelerado.

Riccioli, Grimaldi y Mariotte comprobaron las leyes de Galileo e hicieron intervenir la resistencia del aire en sus cálculos.

Las leyes de caída de los cuerpos tenían, además, gran interés desde el punto de vista del estudio de la rotación de la Tierra. Tycho Brahe (1588) encontraba una prueba contraria a la rotación de la Tierra en el hecho de que una piedra al caer no se desviaba al oeste, lo que, según él, debía ocurrir, ya que "la Tierra huye bajo ella hacia el este". Newton (1679) observó que esta desviación debía hacerse hacia el este y no hacia el oeste. Hooke realizó experimen-

tos a una altura de 27 metros, sin resultado. Guglielmini (1791) y Bezenberg (1802) observaron la desviación con alturas mayores y se realizaron experiencias iguales en el siglo XIX. D'Alembert (1771), Olbers, Poisson y Zoppritz (1882) estudiaron el problema desde el punto de vista teórico. (Véase D'Alembert).

En el siglo XVIII, Atwood, y en el XIX, el general Morin, inventaron las conocidas máquinas que permiten comprobar las leyes de caída de los cuerpos.

19. *Movimiento de los proyectiles.* — Desde Aristóteles hasta el siglo XVI, se creyó que la trayectoria del proyectil lanzado oblicuamente podía dividirse en tres partes: 1º una ascensión violenta rectilínea; 2º un movimiento mixto en arco de círculo y 3º un movimiento tangente al arco descendente y rectilíneo.

Tartaglia, en 1536, afirmó que el movimiento es completamente curvilíneo y que tiene su mayor alcance cuando el proyectil ha sido lanzado con una inclinación de 45º. Santbeck, en 1561, volvió a emitir una teoría completamente errónea. Cardano, en 1569, se ocupó de la resistencia del aire al movimiento del proyectil. Galileo, en fin, estudió la trayectoria, como la composición del movimiento rectilíneo inicial con la gravedad y estableció que es una parábola de amplitud máxima a 45º de inclinación del arma. Torricelli, en 1644, confirmó y amplió el estudio de Galileo.

En el siglo XIX, Mach, el célebre autor de "La Mecánica", hizo un importante estudio de esta cuestión.

20. *Frotamiento.* (Véase Coulomb). — Heron estudió el frotamiento y Leonardo de Vinci descubrió algunas de sus leyes. Amontons, en 1699, estableció que el frotamiento es independiente de la superficie y depende de la presión. Coulomb, en 1781, estableció las leyes del frotamiento con el "tribómetro", expresadas en la fórmula

$$F = p - \frac{P + p}{g} a$$

En el siglo XIX, el general Morin (1833), Warburg, Babo, Muller, Rennie, Hirn, Petroff, Painlevé, se ocuparon de la misma cuestión.

Coulomb estudió también el roce de rodamiento y expresó la fórmula

$$F = a \frac{P}{r}$$

Estudió el roce interior de los líquidos, del que imaginó un método de determinación, que fué corregido por Meyer, en 1887.

En 1848, Hirn estableció que el frotamiento de piezas de máquinas bien engrasadas es proporcional a la raíz cuadrada de las superficies, a la raíz cuadrada de la presión entre las piezas y a su velocidad relativa. Esta afirmación de Hirn levantó mucha oposición por estar en oposición con las leyes de Coulomb.

21. *Atracción universal.* (Véase Newton). — Grots (siglo XVI), Galileo, Keplero, Bouillaud y Borelli hablaban ya de la atracción recíproca de los astros. que había sido mencionada vagamente por algunos antiguos, y creían que esta atracción es inversamente proporcional a la distancia.

Entre los precursores directos de Newton en este estudio, deben citarse a Fermat, Wren, Hooke, Halley y Huyghens, que se acercaron mucho a la solución.

Newton empezó su estudio de la atracción universal en 1666 y publicó sus resultados en 1687, en sus célebres "Principios Matemáticos". Se basó principalmente en las leyes astronómicas de Keplero, la ley de la fuerza centrífuga de Huyghens y las leyes de caída de los cuerpos de Galileo; estos tres sabios deben ser considerados, pues, como sus principales precursores.

Aplicando las fórmulas de Newton, varios sabios como Bouguer, Cavendish, Maskelyne, Mitchell, etc., estudiaron la atracción de la Tierra y determinaron la densidad media de nuestro globo por la desviación de la plomada cerca de una montaña.

Se imaginaron muchas teorías para explicar el origen de la atracción universal. (Véase Mossotti). Los antiguos consideraban que por una propiedad natural los cuerpos tienden a unirse alrededor de un centro común. Aristóteles hablaba de los cuerpos que tienen su "lugar natural" bajo y los que lo tienen alto, refiriéndose a los cuerpos respectivamente más o menos pesados que el aire. Keplero dió una de las primeras explicaciones físicas de la gravedad, atribuyéndola al efecto de efluvios magnéticos de la Tierra.

Newton, a pesar de su repugnancia por las hipótesis, habló de variación de densidad del éter fuera y dentro de los astros; Descartes hablaba de la presión del flúido sutil sobre los cuerpos; Lesage, el inventor del telégrafo eléctrico, imaginó una célebre teoría de la gravedad con corrientes de corpúsculos infinitamente pequeños en el éter, teoría que fué rechazada por Maxwell; Lamé (1852) buscó también en el éter la explicación de la gravedad; Boucheporn (1827) creyó encontrarla en los movimientos de los cuerpos celestes; Herapath (1821-47) la veía en los movimientos térmicos de los cuerpos; Challis (1859) hizo una hipótesis ondulatoria inspirada en las atracciones y repulsiones que causan las vibraciones acústicas, y Keller y Leboisbaudran emitieron teorías similares; W. Thomsom (Kelvin) en 1872, y Tait en 1877, volvieron a las corrientes etéreas de Lesage: Zollner (1872) identificó la gravitación y la electricidad y le aplicó las ecuaciones de Weber; Mossotti dió una teoría electromagnética de la gravitación, que fué adoptada por Lorentz.

Pero no se ha resuelto el problema. Las teorías modernas, y entre ellas la de Einstein, atribuyen una velocidad limitada a la propagación de la gravitación; y, mientras Laplace la consideraba cincuenta millones de veces mayor que la de la luz, Einstein considera la velocidad de la luz como el máximum de velocidad en la naturaleza.

22. *Péndulo.* — El péndulo fué tal vez utilizado por los árabes para la medida del tiempo. En Europa, Burgi, discípulo de Keplero, parece haber sido el primero en darle

esa aplicación en observaciones astronómicas; pero, desde el punto de vista de la historia de la física, puede considerarse que la historia del estudio del péndulo como aparato de física empieza con la observación de su isocronismo hecha por Galileo en 1583, en la catedral de Pisa y, más aún, con el estudio de las leyes de movimiento del péndulo establecidas por el mismo sabio en 1632 y 1638. Se buscaron precursores a Galileo en este estudio y algunos creen haberlos encontrado en los árabes, pero nada seguro puede afirmarse al respecto.

Galileo estableció la teoría del péndulo como aplicación de las leyes de caída de los cuerpos, por él descubiertas. Estableció que el peso de un péndulo no influye sobre la duración de sus oscilaciones; y relacionó este hecho con la caída de los cuerpos por considerar el movimiento pendular como una caída libre a lo largo de un arco de círculo, el cual debe ser considerado como una serie de planos inclinados. Estableció que la duración de la oscilación depende de su longitud y que los tiempos de oscilación son proporcionales a las raíces cuadradas de las longitudes. (Los tiempos de caída de los cuerpos son proporcionales a las raíces cuadradas de las alturas).

Galileo no aclaró en esta segunda ley que las oscilaciones debían ser muy pequeñas y es a Mersenne que debemos la primera aclaración del punto (1644), aunque no puede afirmarse que él haya sido quien lo descubriera. Idéntica observación se encuentra en los anales de la Academia del Cimento. Fué Huyghens quien, en 1673, trató el punto con toda amplitud, dando el segundo paso en el estudio del péndulo.

Galileo había estudiado el péndulo ideal (péndulo simple o matemático). Mersenne había propuesto el problema del péndulo compuesto (péndulo físico) al proponer a los matemáticos, en 1646, la determinación de la duración de las oscilaciones de distintas figuras que oscilen en su plano ó lateralmente. Descartes y Roberval intervinieron en la competencia, resolviendo varios puntos y entraron en una discusión acerba.

Huyghens también quiso intervenir en la contienda pero sólo tenía diez y siete años. Fué en 1673 que resolvió el problema en su estudio completo de las oscilaciones del péndulo: Determinó el centro de oscilación del péndulo compuesto; descubrió la reversibilidad del péndulo, propiedad que fué aplicada por Bohnenberger (1811) y por Kater (1818) a la determinación de la longitud del péndulo de segundo (péndulo de reversión); estudió el péndulo circular, el péndulo cicloidal y el péndulo cónico; demostró que el péndulo cicloidal es tautócrono y también braquistócrono; propuso la longitud del péndulo simple como medida de longitud, creyendo que ésta era la misma en la Tierra, pero abandonó la idea cuando supo que varía según la latitud. Este hecho fué descubierto por Richer, quien en su viaje a Cayena (1671) observó la variación, observación que dió a Huyghens y a Newton la comprobación del achatamiento de la Tierra.

La adaptación del péndulo a la medida del tiempo fué iniciada por Galileo (1620) y continuada por su hijo Vicente (1649), pero ambos se limitaban a utilizar el péndulo mientras éste conservara su movimiento. Huyghens presentó en 1656 el reloj de péndulo y debe ser considerado como su inventor a pesar de todas las discusiones que surgieron al respecto.

Esta aplicación del péndulo impuso el estudio de la resistencia a su movimiento. Galileo observó que esta resistencia aumenta con la velocidad del péndulo; Newton (1687), J. Hermann (1727), D. Bernoulli (1730), Euler (1761), estudiaron el problema. Coulomb (1784), Du Buat (1786), Poisson (1808), Airy (1830), Stokes (1851), O. E. Meyer (1871) se detuvieron especialmente en el estudio de la resistencia del aire. Euler (1780) y Jacobo Bernoulli (1783) estudiaron la resistencia por suspensión. Picard (1669) estudió la influencia de la temperatura, cuestión prácticamente solucionada por Harrison (1725) y por Graham (1726). Bessel (1829) hizo un estudio general de todas las causas de resistencia en el péndulo.

P. Boscowich (1785) hizo importantes observaciones

sobre los métodos de determinación de la duración de oscilación de los péndulos y la corrección que proviene de la pérdida de peso de la masa del péndulo en el aire, corrección ya indicada por Bouguer.

En 1792, Borda dió la principal aplicación de estos métodos de Boscowich en sus experimentos para la determinación exacta de la longitud del péndulo de segundos.

Borda dió también la ley de la disminución de la amplitud de las oscilaciones del péndulo para amplitudes superiores a 1º e imaginó su célebre método de la determinación de la gravedad por el péndulo. Biot estudió la ley de Borda sobre la disminución de la amplitud y la confirmó.

En 1851, Foucault realizó su conocido experimento de la demostración física del movimiento de la Tierra, por el péndulo.

CAPITULO II

HIDROSTATICA

Los dos grandes nombres de la hidrostática son Arquímedes (287 a 212 antes de J. C.) y Stevin (1548-1620). Esta ciencia no ha hecho adelantar la estática general de la que más bien es una aplicación.

1. *Principio de Arquímedes.* — Arquímedes, el fundador de la estática general, fué también el fundador de la hidrostática. Estableció su célebre principio y cuando, en el siglo XVI, se volvió a estudiar su obra, sus ideas fundamentales no fueron entendidas, sino cuando Stevin volvió a establecerlas por métodos personales. Este sabio belga confirmó y amplió los trabajos de Arquímedes con métodos nuevos en que se basaba, como en su estudio del plano inclinado, sobre la imposibilidad del movimiento perpetuo. Agregó, además, que el centro de gravedad del cuerpo su-

mergido y el centro de gravedad del líquido desalojado están en una misma vertical y que el equilibrio del cuerpo es mayor cuanto mayor sea la distancia entre estos dos centros de gravedad.

Descartes, en 1644, inventó el "ludión" o "diablillo de Descartes" que es una aplicación del principio de Arquímedes. Guericke, en 1661, inventó el baroscopio, que es una aplicación del mismo principio a los gases, y Boyle (1666) perfeccionó este aparato.

2. *Balanza hidrostática.* — Galileo la descubrió o la inventó, pero insistió en demostrar, con toda apariencia de razón, que Arquímedes la conocía y puede ser considerado como su verdadero inventor.

3. *Equilibrio de los líquidos.* — En todos los casos de equilibrio de los líquidos, Arquímedes, Stevin y Galileo han estudiado el problema como corolario de los casos de equilibrio de los sólidos.

Stevin estableció que la presión del líquido sobre el fondo del recipiente es igual al peso de una columna que tiene este fondo por base y la distancia del nivel al fondo, por altura.

Lo demostró teóricamente por su método general de la imposibilidad del movimiento perpetuo y experimentalmente por los métodos que aún se emplean en los gabinetes.

Stevin hizo resaltar también la conocida "paradoja hidrostática".

Galileo, cuya obra no puede ser comparada con la de Stevin en hidrostática, se basó en el principio de las velocidades virtuales para demostrar los casos de equilibrio de los líquidos y, entre ellos, el de los vasos comunicantes.

Pascal (1653) también se fundó en el principio de las velocidades virtuales y estudió experimentalmente la demostración del aumento de presión con la profundidad en los líquidos. Debe recordarse también que Boyle utilizó los vasos comunicantes para determinar, por comparación, la densidad de los líquidos.

El conocido "aparato de Haldat", que demuestra que la presión en el fondo del recipiente no es proporcional a la cantidad de líquido, sino a la superficie del fondo y la altura del nivel, fué inventado por Haldat du Lys, en el siglo XIX.

4. *Principio de Pascal.* — Stevin llegó hasta muy cerca del principio de Pascal, pues dijo: "Una libra de agua en un tubo estrecho puede ejercer más peso que cien mil libras en un tubo ancho". Pero Pascal enunció este principio en forma general y le dió la demostración teórica basada en el principio de las velocidades virtuales. Le dió además, como hermosa aplicación, "la prensa hidráulica". Al lado de esta máquina hidráulica debe citarse el ariete hidráulico de J. Montgolfier (1794), que interesó mucho a los físicos.

5. *Sifón.* — El sifón era conocido por los antiguos y encontramos su explicación en Herón, quien asimilaba el líquido a una verdadera cadena que se desliza del lado más largo, pero se entiende fácilmente que la explicación exacta del equilibrio del sifón sólo pudo darse cuando se llegó al concepto claro de la presión atmosférica.

6. *Nivel.* El principio del nivel o sea el aprovechamiento de la horizontalidad del nivel de un líquido fué conocido en todo tiempo. El primer nivel de alcohol se debe a Hooke, en 1661, y el primer nivel de agua a Picard, en 1684.

7. *Areómetros.* — Arquímedes parece haber inventado el primer areómetro de peso constante, cuya mejor descripción por un autor antiguo se encuentra en una carta de Hipatía (siglo IV). Los médicos árabes lo empleaban para conocer la densidad de un líquido e indirectamente su temperatura, aunque parecen haber ignorado la dilatación de los líquidos por el calor.

En el siglo XVII, el médico francés Monconnys construyó un areómetro de volumen constante. Otros modelos fueron construídos por los académicos del Cimento (1657-

1667) y por Torricelli. Deben citarse después, el areómetro de Hooke (1677), que se colgaba del platillo de una balanza, el del Padre Feuillée (1714), parecido a los de Fahrenheit (1727) y de Nicholson (1787).

Con el areómetro de Baumé volvemos a los areómetros de volumen variable.

CAPITULO III

NEUMATICA

En neumática los tres nombres más importantes son los de Torricelli, Pascal y Guericke.

1. *Aire. — Presión Atmosférica.* — Desde la antigüedad hasta el siglo XVII las nociones acerca del aire fueron muy vagas. Mientras muchos hacían del aire algo espiritual, Anaxágoras (500 antes de J. C.), Empédocles (400 antes de J. C.) y otros, demostraban su materialidad.

Aristóteles ya suponía que el aire tiene peso, aunque sus experimentos le daban resultados negativos por ignorar el principio de Arquímedes. Stevin (1586), Keplero (1604), Galileo y Rey (1630), y quizá anteriormente Benedetti (1585), demostraron la pesantez del aire, pero se seguía explicando los fenómenos debidos a la presión atmosférica, como la altura máxima de los caños de bomba, por ejemplo, por el vago concepto peripatético del "horror al vacío".

El estudio de los gases en general había sido empezado por Van Helmont, quien les dió su nombre de "gas" y por Gassendi (1640), quien intentó estudiar su constitución íntima como Galileo había estudiado la constitución de los líquidos.

Descartes (1631) llegó muy cerca del concepto exacto sobre el aire y la presión atmosférica; afirmó que el aire

tiene peso y que las capas inferiores están más comprimidas a causa del peso de las capas superiores. Pudo muy fácilmente haber inventado el barómetro, pues afirmó que el mercurio de un tubo cerrado en la parte superior no puede despegarse del fondo si no tiene el peso suficiente para vencer el peso del aire. Habría también atribuído al peso del aire la ascensión del agua en el cuerpo de bomba y habría ideado, sin realizarlos, los célebres experimentos de Pascal.

De 1643 a 1644, Torricelli realizó sus experimentos; expresó ideas exactas sobre la presión atmosférica, destruyendo así la creencia en "el horror al vacío", e inventó el barómetro. Ricci (1646) comunicó estos experimentos al Padre Mersenne, quien los comunicó a Petit, quien a su vez los hizo conocer a Pascal, ya enterado de las ideas de Descartes. Al principio, Pascal interpretó los experimentos de Torricelli según el antiguo concepto del "horror al vacío", pero, cuando conoció la explicación de Torricelli, la admitió y la comprobó con sus célebres experimentos sobre la disminución de la altura barométrica con la altitud, de modo que, en 1648, los sabios, fuera de algunas excepciones, admitieron la presión atmosférica. Los académicos florentinos del Cimento (1657-1667) realizaron numerosos experimentos para confirmar las ideas de Torricelli y de Pascal.

2. *Barómetros*. — Torricelli inventó el barómetro en 1664, siendo ayudado en sus experimentos por Viviani, otro discípulo de Galileo. Pascal, en sus experimentos, dió al barómetro la forma de un sifón, forma que fué también adoptada por Otto de Guericke (1663).

Hooke, en 1665, inventó el barómetro de cuadrante; Borelli (1667) se ocupó del perfeccionamiento del barómetro.

En el siglo XVIII, se imaginaron muchos modelos de barómetros y algunos muy complicados. Amontons (1704) descubrió la necesidad de la corrección de temperatura e imaginó sucesivamente un barómetro de varias ramas, mucho más corto que el barómetro común, un barómetro do-

ble, ya realizado por Hooke; y un barómetro cónico. El barógrafo de Macquire (1791) tiene su origen en el barómetro estático de Moreland (1670) y dió origen al barógrafo de Secchi (1867).

Fortin (o más bien Fotin) inventó, medio siglo más tarde, su barómetro portátil y cuyo mercurio tiene siempre el mismo nivel en la cubeta. Este invento de Fotin tendría su origen en otro parecido de Magellan.

Gay-Lussac (1816) inventó su conocido barómetro de sifón, de principio igual al de Bunsen, siendo ambos aparatos más livianos que el de Fotin y libres del error debido a la capilaridad.

En 1844, Vidi (1805-1866) inventó el barómetro aneroide y tuvo que defender sus derechos contra Bourdon (1808-1884), pero la primera idea acerca del ingenioso dispositivo de este aparato se atribuye a Leibniz (1697).

3. *Hipsometría*. — El experimento de Pascal (1648) puede ser considerado como la primera apreciación de altitud por medio del barómetro, aunque no haya sido realizado con este fin. Mariotte, en 1676, estableció el primer método de determinación de la altitud por el barómetro; Halley, Maraldi, J. Cassini y D. Bernoulli estudiaron esta cuestión y Laplace estableció una larga fórmula, a la que se prefiere muchas veces la de Babinet, más sencilla (véase Laplace).

4. *Variaciones barométricas*. — Desde un principio, se observó que el barómetro varía constantemente en sus indicaciones. Guericke con un barómetro de agua, observó que esas variaciones precedían cambios atmosféricos, y en 1660, anunció así una tormenta. Se hicieron muchas hipótesis sobre la causa de esas variaciones, que fueron atribuídas ya a la forma de la atmósfera, ya a una absorción del aire por el mercurio, a la evaporación del agua subterránea, etc.

Mariotte (1676) las atribuyó a la compresión del aire por el viento norte; Halley (1685) reprodujo una explica-

ción parecida; Hawksbee (1709) realizó experimentos para demostrar que el viento hace bajar la columna barométrica; Mairan (1715) volvió a atribuir las variaciones al viento y sobre todo a su velocidad.

5. *Compresibilidad.* — Ctesibio (180 antes de J. C.) conocía la compresibilidad del aire e imaginó varios aparatos basados en ella como su fusil de aire. Herón inventó su conocida fuente basada en el mismo principio.

En 1661, Boyle descubrió la célebre ley de las proporciones entre el volumen y la presión de un gas, pero fué su discípulo Townley quien le dió su enunciado corriente. Mariotte la volvió a descubrir, en 1776, por un trabajo personal y con interesantes demostraciones experimentales, que repetimos aún en nuestros días.

Sulzer (1753), Musschenbroek (1759), Gravesande, Amontons, Robison (1822) observaron inexactitudes de la ley de Boyle-Mariotte, mientras que Fontana y Oersted y Svendsen (1826) la comprobaron hasta 60 atmósferas; Dulong y Arago (1830), hasta 27 atmósferas, no observaron irregularidades; Faraday le encontró errores en sus experimentos sobre la liquefacción; Despretz (1827) demostró por el piezómetro que la ley no podía ser rigurosamente exacta, ya que todos los gases no son igualmente compresibles; Pouillet (1837) se ocupó de la comprobación de la ley e inventó, con este fin, su "pirómetro de aire", que inspiró a Regnault en la construcción de un conocido aparato. Los experimentos de Regnault sobre la compresibilidad de los gases empezaron en 1847 y se distinguen de los de sus predecesores por el hecho primordial de que Regnault aumentaba constantemente la masa del gas para conservarle siempre al mismo volumen.

Después de Regnault deben citarse aún a Siljestrom (1873), Mendeleieff (1874-76), Amagat (1876-83), Fuchs (1888), van der Waals (1889), Rayleigh (1901) en el estudio de las presiones bajas, y a Natterer (1850-54), Cailletet (1870-79), Amagat (1878) y Leduc (1896-98) en el de presiones altas.

Natterer, en 1851, realizó experimentos hasta 270 atmósferas y vió que, a altas presiones, gases generalmente más compresibles de lo que indica la ley de Boyle-Mariotte, se vuelven menos compresibles. Cailletet realizó experimentos parecidos con aparatos de su invención y llegó a presiones de 240 atmósferas.

En 1880, Clausius amplió la fórmula de van der Waals sobre la compresibilidad de un gas a una temperatura dada, ya modificada por Regnault y por Sarrau.

6. *Manómetros*. — Hemos visto (Principio de Arquímedes) que Guericke, en 1661, y Boyle, en 1666, inventaron "baroscopios" que son verdaderos manómetros; Guericke además diferenciaba claramente las determinaciones barométricas de las manométricas.

El invento del manómetro de tipo moderno se atribuye a B. de Saussure o a Bétancourt (1792), pero Mariotte, con sus dispositivos experimentales, ya había imaginado verdaderos manómetros de aire.

7. *Bombas*. — La bomba aspirante debe haber sido conocida por los autores más antiguos y de ellas deriva el concepto de Aristóteles del "horror al vacío".

La bomba aspirante e impelente fué inventada probablemente por Ctesibio (180 antes de J. C.) y fué empleada por los romanos como bomba de incendio.

8. *Máquina neumática*. — El barómetro de Torricelli (1644) dió el primer vacío artificial. Otto de Guericke, de 1650 a 1663, realizó una serie de experiencias para la obtención del "vacío artificial", que le hicieron inventar y perfeccionar la primera máquina neumática, los hemisferios de Magdeburgo y el baroscopio.

Boyle perfeccionó la máquina de Guericke en colaboración con Papin y sometió al vacío todos los fenómenos físicos conocidos. Construyó una máquina con cremallera, dos cuerpos de bomba, platina, válvulas en lugar de llaves, etc. Siempre con Papin, inventó la máquina inversa o sea la máquina de compresión.

En el siglo XIX, Geissler (1857) inventó la bomba de Mercurio que Poggendorff (1865) perfeccionó. Sprengel (1865) imaginó la trompa de mercurio, aparato que Bunsen fué el primero en hacer funcionar con agua. Mendeleieff inventó también una bomba de mercurio del tipo de la de Geissler.

9. *Mezcla de los gases, difusión, disolución, etc.* (véase Graham y Bunsen). — Volta (1790) observó la difusión libre del hidrógeno y del aire; Dalton (1802) estableció la ley de la presión de la mezcla de gases, ley que Gay-Lussac (1816) aplicó a los vapores. Mitchell (1829) estudió la difusión a través de los sólidos, y en fin Tomás Graham (de 1833 a 1846), partiendo de todos esos estudios, realizó amplias investigaciones acerca de la difusión libre y de la difusión a través de paredes porosas que llamó efusión.

Estableció la célebre "ley de Graham" sobre la difusión de los gases a través de las paredes porosas (1834); estudió la difusión en los sólidos observada por Nicolás de Saussure, en 1814, y por Mitchell, en 1831, la oclusión o condensación de los gases en los metales y, en 1850, la difusión de los líquidos.

Bunsen estudió, poco después (1857), la mezcla, la difusión, la efusión, la absorción y la disolución de los gases, y, para estudiar su solubilidad en los líquidos, inventó el absorciómetro. Midió la densidad de los gases en función de su difusibilidad con el difusiómetro, otro aparato de su invento, y, en 1857, estudió la efusión como lo había hecho Graham. El "roce interior" al cual Graham somete todos los fenómenos de efusión, fué estudiado por O. E. Meyer (1865), Maxwell (1866), etc.

10. *Teoría Cinética de los gases* (véase Clausius). — En 1662, Hooke emitió la idea de los movimientos moleculares, e ideas parecidas se encuentran en ensayos de Leibniz, de Malebranche, de Jacobo Bernoulli, de Parent, de Juan Bernoulli y, con más precisión, en las obras de Daniel Bernoulli (1738), en las de Lesage, de Prévost y de

Joule. Pero los verdaderos fundadores de la teoría cinética de los gases son Kroenig (1856) y Clausius (1857-1862). Ambos repitieron el concepto de Daniel Bernoulli (1738), que atribuye a las moléculas un movimiento rectilíneo de velocidad constante. Clausius creía que la velocidad es la misma para todos los gases y estudió las fuerzas de atracción y de repulsión entre las moléculas. Boscowich admitía la atracción cuando la distancia entre las moléculas pasa de cierto mínimum, y la repulsión, debajo de este mínimum, lo cual sería, según Maxwell, inversamente proporcional a la quinta potencia de la distancia.

Boltzmann (1896-98) completó la teoría cinética de los gases, pero sólo la consideraba como una imagen de lo que podría ser la constitución íntima del estado gaseoso.

Observemos en fin que el estudio de la teoría cinética de los gases ha sido la consecuencia de las investigaciones relativas a la teoría mecánica del calor.

11. *Aerostación* (véase Montgolfier). — El invento de los globos por los hermanos Montgolfier es una derivación directa del estudio experimental de los gases. Las principales fechas de la historia de la aerostación son:

1782. — Invento del globo por los hermanos Montgolfier.

1783. — Experiencia pública por Montgolfier en Annonay; globo de hidrógeno de Charles y Robert; primera ascensión de personas por Pilatre de Rozier y el marqués de Arlandes; globo de gas de alumbrado de Minkelers; ascensión de Charles y Robert en globo de hidrógeno, con válvula y lastre; ensayo del paracaída por Lenormand.

1784. — Ascensiones de Montgolfier con cinco pasajeros, de Andreane, Gerli, Blanchard, Guyton de Morveau, Robert y Duque de Chartres, del General Meusnier con globo compensador.

1785. — Blanchard y Jefferies cruzan la Mancha; muerte de Pilatre de Roziers y de Romani al intentar lo mismo.
1793. — Globos cautivos militares en la batalla Condé.
1803. — Primera ascensión científica por Robertson y Lhoest (7400 metros).
1804. — Ascensión de Gay-Lussac y Biot (7000 metros).
1850. — Ascensión de Barral y Bixio (7000 metros).
1852. — Giffard inventa el primer dirigible.
1862. — Ascensión científica de Glaisher (11.000 metros).
1875. — Ascensión científica de Tissandier, Sivel y Croce (8.600 metros) y muerte de los dos últimos.
1883. — Tissandier viaja en un dirigible con motor eléctrico.
1884. — El Capitán Renard construye el dirigible "La France".
1894. — Assmann hace subir un globo sin pasajeros y con aparatos registradores a 18.500 metros.
1896. — Primer dirigible rígido de Zeppelin.
1898. — Santos Dumont inaugura la era práctica de los dirigibles.

Desde esa fecha los globos esféricos ya no tienen más que un valor deportivo. Los dirigibles se perfeccionan cada vez más como lo demuestran diariamente los grandes viajes que se realizan con fines comerciales o militares.

CAPITULO IV

CAPILARIDAD (Véase Laplace)

La capilaridad no fué estudiada por los antiguos, aunque Platón se refiriera al trasiego de un líquido por medio de un hilo de lana.

Leonardo de Vinci parece haber sido el primero en observarla, como lo hicieron después Aggiunti, a principio del siglo XVII, y el jesuíta Juan Rho de Milán, pocos años más tarde. Pascal sin embargo, desconocía la capilaridad en su "Tratado del Equilibrio de los Líquidos" de 1653.

Borelli (1667) parece haber sido el primero en estudiar metódicamente la capilaridad y encontró que la ascensión es más rápida en tubos húmedos, que la causa de la capilaridad no es la presión atmosférica y que la altura es inversamente proporcional al diámetro del tubo, ley generalmente atribuída a Jurin que la volvió a enunciar en 1718. Borrelli realizó en fin la mayor parte de los experimentos clásicos elementales sobre capilaridad.

En 1666, Voss había observado la depresión del mer curio por capilaridad; Montanari, en 1667, estudió la capilaridad en el mismo año que Borelli; Ditton, Boyle, Grimaldi, Hooke, J. Bernoulli buscaron su explicación. Taylor (1712) observó que la forma del menisco es una hipérbola; Hawksbee y Newton estudiaron también la capilaridad; Jurin (1718) volvió a establecer la ley de Borelli. Clairaut dió, en 1743, la primera teoría analítica de la capilaridad.

Young se ocupó de ella en 1805.

De 1806 a 1807, Laplace se ocupó de la teoría de la capilaridad que atribuyó, según su concepto newtoniano, a una acción a distancia de las moléculas. Estableció que el ángulo de conjunción depende de la relación entre la cohesión de las moléculas de la superficie del líquido y la adhesión del líquido con la pared del tubo; estableció una ley de la altura y una fórmula de la presión ejercida por la capa

superficial. La teoría de Laplace dió origen a numerosos estudios durante el siglo XIX. Mousson, Quincke, Boltzmann, Wilhelmy y Plateau la sometieron a distintas discusiones teóricas o experimentales.

Segner, en 1752, ya hablaba de "tensión superficial"; Gauss estudió analíticamente el valor de esa presión; Rumford admitía la existencia de una especie de membrana superficial; Poisson le atribuía mayor densidad que al resto del líquido.

Kirchhoff, Mossotti, Link, van der Waals, Hulshof, Donnan, Stefan, Desains, Frankenheim, Hagen (1845), Draper (1846), Quincke, Wolff, van der Mensbrugghe, Quet y muchos otros se ocuparon de los problemas de la capilaridad y de la tensión superficial, sin que se pueda aún afirmar si existe una constitución especial del líquido en su superficie.

2. *Osmosis*. (Véase Graham, Magnus). — Aunque su descubrimiento empírico pueda hacerse remontar a Demócrito y a Aristóteles, la ósmosis fué realmente descubierta por Nollet en 1748, quien le dió el nombre de "difusión". Parrot (1812) estudió la ósmosis en paredes porosas; Fisher (1814) y Chevreul (1822) la estudiaron en membranas animales; Magnus (1827) y Jelly prosiguieron esas investigaciones y Graham inventó el dializador.

Van't Hoff, en 1886, estableció sus célebres "leyes osmóticas". (Véase *Electrólisis*).

3. *Difusión*. (Véase Graham). — El término de "difusión" empleado por Nollet para la ósmosis, se emplea para la difusión libre de los líquidos cuyo estudio tiene entre sus antecedentes la observación de Berthollet (1803) de la relación entre la corriente de difusión y la conductibilidad térmica, pero llegó a su pleno desarrollo con las investigaciones de Graham (1850) quien estableció que la velocidad de difusión depende de la naturaleza del cuerpo disuelto; que la cantidad de sales que se difunden es proporcional a la concentración; y que la concentración aumenta con la

temperatura. Kelvin (1856), Kundt (1877), Stefan (1878), Gouy (1880) continuaron el estudio del problema.

4. *Adherencia.* — Descartes (1631) y Pascal (1648) atribuían la adherencia a la presión atmosférica. En 1713, Taylor determinaba el valor de la adherencia de una placa con un líquido, por las pesas necesarias para separarla. Musschenbroeck y Guyton de Morveau siguieron el mismo procedimiento.

CAPITULO V

HIDRODINAMICA

---

1. *Movimiento de los líquidos.* — Heron, y más tarde Frontino (110 de nuestra era), hicieron algunas observaciones acerca del derrame de los líquidos, pero el fundador de la hidrodinámica fué sin duda Torricelli (1644). Como lo hiciera su maestro Castelli, aplicó las leyes de caída de los cuerpos de Galileo al estudio del derrame de los líquidos para establecer su célebre teorema y determinar la forma de la trayectoria del líquido que sale por un orificio lateral.

Mersenne (1644) confirmó las observaciones de Torricelli, pero demostró que el chorro lateral no es una parábola perfecta debido a la resistencia del aire.

En 1686, Mariotte comprobó también los experimentos de Torricelli, estudió el frotamiento de los líquidos en los tubos e imaginó el célebre "frasco de Mariotte".

Newton (1713) aportó ciertas correcciones a los trabajos de Torricelli y observó la "contractio venae"; Varignon quiso deducir su teorema de la relación entre la fuerza y la cantidad de movimiento; y Daniel Bernoulli (1738) aplicó al estudio de los movimientos de los líquidos en general, el teorema de la fuerza viva, en su célebre "Hidrodinámica".

2. *Compresibilidad.* (Véase Canton). — Los antiguos consideraban los líquidos como absolutamente incompresibles. En 1620, F. Bacon prensaba esferas metálicas llenas de líquido para demostrar su compresibilidad, pero el líquido se escapaba por los poros del metal, haciendo fracasar el experimento. Bacon afirmaba sin embargo, que la fuerza con que se escapaba el líquido ya era prueba de su compresibilidad. En 1661, la Academia del Cimento repitió estos y muchos otros experimentos y de sus resultados negativos concluyó que los líquidos son incompresibles como también lo afirmaron Nollet, Musschenbroeck, Boerhaave y Newton, mientras que Fabri y Boyle creían en su compresibilidad.

En 1757, Beccaria afirmó que los líquidos son compresibles, ya que propagan los sonidos. En 1761, en fin, Canton demostró la compresibilidad de los líquidos utilizando la presión atmosférica como fuerza y atribuyó un valor de 0.000046 al "coeficiente de compresión" del agua.

Perkins, en 1820, demostraba la compresibilidad llevando al fondo del mar una caja metálica resistente, llena del líquido estudiado y provista de una válvula. La gran presión de las profundidades del mar hacían penetrar en el envase una cierta cantidad de agua, cantidad que se determinaba fácilmente por la balanza.

En 1822, Oersted inventó el piezómetro, que le permitió efectuar medidas más exactas que las anteriores.

En 1825, Colladon y Sturm realizaron sus célebres experimentos en que corregían el error cometido por Oersted al no tomar en cuenta la variación de la capacidad del piezómetro. Cometieron, en esta misma corrección, errores que fueron subsanados a su vez en los métodos de Regnault (1848).

Después de Regnault, Amaury, Descamps y Jamin (1869), Amagat (1869), Cailletet (1827), Tait, Roentgen (1886), Schumann (1887), Drecker (1888), Gilbaut (1897), Guinchant (1901), hicieron determinaciones cada vez más exactas de la compresibilidad de muchos líquidos.

3. *Viscosidad.* (Véase Helmholtz). — En 1795, Gerstner conocía la cohesión del agua y la influencia de la temperatura sobre su fluidez. Poiseuille, en 1842, estableció las leyes del derrame de líquidos en tubos capilares basándose en trabajos de Du Buat, Girard y Hagen, e introdujo en ellas una constante que varía con la temperatura, constante que Hagenbach llamó en 1860, "coeficiente de viscosidad". Barré de Saint Venant (1843), Stokes (1845), Boussinesq y Duhem siguieron los mismos métodos de estudio de la viscosidad de Poiseuille mientras que Helmholtz (1860), inspirado en Coulomb (1802), estudiaba el movimiento de una esfera en el líquido cuya viscosidad deseaba determinar.

LIBRO II

EL CALOR

1. *Generalidades.* — Desde la más remota antigüedad parece haber existido conjuntamente dos teorías del calor, como existieron dos teorías de la luz (ondulaciones y emisiones); una consideraba al calor como un flúido material y la otra lo representaba como el efecto de un movimiento de las partes íntimas de la materia.

Es esta última teoría que, con algunas modificaciones, ha triunfado en el siglo XIX.

Aristóteles veía en el calor un elemento oculto formado por partes en perpetuo movimiento; Keplero (1604) afirmaba que la luz es material, pero que el calor es inmaterial, pues es una propiedad de la luz; F. Bacon (1620) es considerado como uno de los defensores de la teoría del calor-movimiento y como uno de los precursores de la teoría moderna; Boyle llamaba al calor "un movimiento vibratorio de las moléculas" y Descartes (1644) "una agitación de las partecillas de los cuerpos".

Newton también afirmaba que el calor es movimiento y agregaba, entre muchas apreciaciones bastante vagas, que bien podría ser una vibración del éter. Leibniz acusó a Newton de emitir ideas parecidas a las cualidades ocultas de los antiguos y Nollet atacó directamente su concepto del calor vibración del éter, arguyendo que era imposible explicar así que una simple chispa puede producir grandes incendios. Euler creyó entonces que era necesario introducir en la ciencia un principio nuevo para explicar los fenómenos caloríficos y propuso algo parecido al flogisto de Stahl.

Gravesande, Boerhaave, Musschenbrcek mantenían la idea más generalizada del calórico material y hasta sostuvieron su ponderabilidad. Esta cuestión de la ponderabilidad del calórico suscitó nuevas discusiones, que no contribuyeron, por cierto, a aclarar los muy obscuros conceptos que acerca del calor se formaban los sabios del siglo XVIII.

La palabra "calórico" fué introducida por Crawford y, dentro de la confusión general, fué confundida con el "flogisto", que nadie podía definir.

Lavoisier y Laplace, en su célebre trabajo de 1780 sobre el calor, confesaron no saber cuál de las dos teorías adoptar, pero más tarde se inclinaron hacia el calórico material.

Rumford puede ser considerado como el primer precursor directo de las teorías modernas; afirmó que el calor es "movimiento" y que es transformable en fuerza mecánica y viceversa. Trató aún, en 1879, de establecer la relación entre el calor y el trabajo (equivalente mecánico) comparando el calor cedido al agua por un metal que se taladra estando sumergido en ella, con el trabajo que se gasta en la operación.

Davy (1799), Young (1807) y Ampère compartían las ideas nuevas de Rumford; y Carnot, en su célebre obra fundadora de la termodinámica (1824), reconocía que esta teoría le seducía, pero afirmaba que, para hacerse comprender mejor por sus contemporáneos, mantenía la terminología de la teoría del calórico material.

La termodinámica en fin, con el desarrollo de las ideas de Carnot y de Mayer, creó el concepto moderno del calor (véase Termodinámica).

CAPITULO I

DILATACION Y TERMOMETRIA

---

1. *Termómetro*. — El estudio del calor no pudo hacer progresos sensibles hasta que no se inventó el termómetro para determinar su intensidad. Los antiguos cono-

cían sólo la dilatación de los sólidos y del aire; la dilatación de los líquidos pasó inadvertida hasta por los árabes, que empleaban, sin embargo, el areómetro para determinar aproximadamente su temperatura. Herón inventó un aparato para estudiar la dilatación del aire, perfeccionamiento de otro similar imaginado por Filón y que era un verdadero termoscopio de aire; pero estos sabios no pensaron en su aplicación como aparato de medida de temperatura.

El termómetro fué verdaderamente "inventado" a principios del siglo XVII, sin que se pueda afirmar con exactitud quién ha sido su inventor. Entre los presuntos inventores se han defendido los derechos de los italianos: Porta, Galileo, Sanctorio, Sarpi, de los ingleses: Bacon y Fludd, del belga van Helmont y del holandés Drebbel.

Porta (1606) no hizo más que Filón y Herón; Galileo podría haber inventado un termómetro en 1587, pero no se encuentra ninguna confirmación del hecho en sus propias obras; van Helmont construyó indiscutiblemente un termómetro en los primeros años del siglo XVII; Guericke construyó un termoscopio de grandes dimensiones en el año 1672. En cuanto a Sanctorio, empleó un termómetro probablemente a indicaciones de Drebbel, quien a su vez no hizo más que perfeccionar el de Van Helmont. Se supone que Sarpi empleó un termómetro en 1617, pero no se encuentra ninguna referencia de este aparato en sus obras. Bacon empleó un termómetro muy rudimentario en 1620, y Fludd, que era amigo de Drebbel y conocía sus trabajos, describió un termómetro, en 1638. He aquí pues los principales antecedentes acerca del invento del termómetro, antecedentes que no permiten llegar a conclusiones definitivas.

Escala termométrica. — Se puede creer que Van Helmont, presunto inventor del termómetro, también imaginó los dos puntos fijos de la escala. En la Academia del Cimento (1657-1667) sin embargo, no se utilizaban esos puntos, y la elección de la temperatura de ebullición del agua como punto fijo se ha atribuído a Hooke (1684) o a Renaldini (1694), mientras que se atribuía a Hooke (1664) o

a la Academia del Cimento la observación de la fijeza del punto de fusión del hielo. Otros autores creen poder afirmar que Dalencé fué el primero en preconizar el uso de los dos puntos fijos de la graduación en el año 1668.

Halley trató, sin éxito, de corregir los errores de los primeros termómetros, rara vez concordantes en sus indicaciones Helmont inventó el termómetro diferencial, de aire (1648), pero Amontons (1703) construyó el primer termómetro de aire en que se corrige el error causado por la presión atmosférica, y Hermann (1716) fué quien imaginó cerrar la parte superior del tubo. Fahrenheit (1714) empleaba termómetros de alcohol de gran exactitud e imaginó su conocida escala. Réaumur (1730) imaginó otra escala y empleaba también termómetros de alcohol, y Celsius (1742), inventor de la graduación centígrada, empleaba termómetros de mercurio.

Hocke inventó, en 1691, el primer termómetro de mínima. Newton empleaba un termómetro de aceite de linaza con dos puntos fijos correspondientes a la fusión del hielo y a la temperatura del cuerpo. En 1794, Rumford construyó termómetros de mínima y de máxima, de alcohol y de mercurio.

En 1807, Gay-Lussac introdujo un nuevo progreso en la termometría con sus métodos de corrección de los errores de calibraje, errores que ya habían sido señalados por Lambert (1770).

Kelvin (1851) estableció la "escala absoluta" de graduación racional, independiente de las propiedades físicas de un cuerpo y relacionada sólo con los cambios de cantidad de calor, pero cuyas indicaciones coinciden casi exactamente con las del termómetro normal de hidrógeno.

En 1856, Negretti y Zambra inventaron el termómetro de máxima de uso médico que todos conocemos y Geissler (1864) perfeccionó su dispositivo.

A los termómetros ya estudiados podrían agregarse los termómetros termoeléctricos (véase termoelectricidad) y también el "bolómetro" inventado por Svanberg y perfeccionado por Langley (1890). Este interesante aparato, ba-

sado en la influencia de la temperatura sobre la resistencia eléctrica, permitió a Langley apreciar variaciones de temperatura de un millonésimo de grado.

2. *Termómetro diferencial*. — Según Davy, el primer termómetro diferencial se debe a van Helmont y se encontró su descripción en una obra póstuma de 1648. Brewster demostró que Sturm volvió a hacer el mismo invento en 1685. Son pocos pues los derechos que corresponden a Leslie, quien inventó su conocido termómetro diferencial en 1804, año en que Rumford inventó otro aparato similar.

3. *Pirómetros*. — Newton (1701) determinaba las altas temperaturas por comparación con una barra de hierro al rojo y por medio de la ley del enfriamiento descubierta por él. Amontons (1703) construyó un pirómetro perfeccionado pero basado en el mismo principio.

Musschenbroek inventó el primer pirómetro propiamente dicho y Ellicot, Bouguer, Smeaton, Nollet, Guyton de Morveau, Wedgwood (1782), Brongniart imaginaron distintos modelos.

Pouillet inventó un pirómetro de aire que empleó en su estudio de comprobación de las leyes de Boyle-Mariotte y de Gay-Lussac, y Regnault se inspiró en ese pirómetro para la construcción de sus conocidos aparatos.

4. *Dilatación*. — La dilatación de los sólidos fué conocida por los antiguos y la eolípila de Herón demuestra que también conocían la dilatación de los gases. La dilatación de los líquidos fué la única que pasó inadvertida hasta por los árabes, quienes empleaban sin embargo el areómetro como termoscopio.

5. *Dilatación de los gases* (véase Dalton y Gay-Lussac). — Amontons (1702) determinó con cierta aproximación el coeficiente de dilatación del aire y demostró que esa dilatación es proporcional a la temperatura.

Volta, Priestley, La Hire, H. de Saussure, Roy, Prieur hicieron otras determinaciones del coeficiente del aire.

Prieur creía que cada gas tiene una dilatación particular y Laplace tuvo el claro presentimiento de la inexactitud de esta afirmación.

Gay-Lussac y Dalton estudiaron separadamente y casi simultáneamente, de 1801 a 1807, la dilatación de los gases y llegaron a los mismos resultados (ley de Gay-Lussac), por métodos distintos. Gay-Lussac evaluó el coeficiente de la dilatación en 0.00375 y Dalton obtuvo el valor de 0.00373. Otras determinaciones fueron hechas más tarde por Dulong y Petit, Pouillet, Rudberg (1837) 0.003646, Magnus (1842) 0.003668, Regnault, Jolly, Chappuis, Andrews, Amagat, Hoffmann, Mendeleieff, Travers, Jacquerod, etc. Al principio no se discutió la exactitud de la ley de Gay-Lussac en sí, sino la evaluación del coeficiente; pero, cuando Regnault demostró definitivamente la inexactitud de la ley de Boyle-Mariotte, la ley de Gay-Lussac ya no pudo ser considerada como rigurosamente exacta.

6. *Dilatación de los sólidos.* — Cabe recordar al respecto el anillo de Gravesande, los péndulos compensadores de Harrison (1725) y Graham (1726) y el aparato de Lavoisier y Laplace (1780) con que estos sabios descubrieron la histéresis de dilatación, parecida a la histéresis elástica que sólo fué descubierta un siglo más tarde. Deben agregarse en fin los piezómetros que ya hemos citado.

En 1818, Dulong y Petit descubrieron que la dilatación de los sólidos varía en las altas temperaturas y quedó así expresada la falta de proporcionalidad entre la dilatación del sólido y la temperatura.

En 1823, Mistcherlich descubrió la dilatación irregular de los cristales y ella fué estudiada por medio de las interferencias por Fizeau, quien inventó su "dilatómetro" de sólidos (1864) que permitió hacer lecturas muy precisas de la dilatación. Abbe (1884) perfeccionó este procedimiento.

7. *Dilatación del agua* (véase Rumford y Despretz). — La Academia del Cimento observó la dilatación del agua al congelarse; Mariotte (1676) atribuyó esta "irregularidad" a la presencia del aire disuelto en el agua y esta equi-

vocada idea fué compartida por Huyghens y negada por Hooke. Deluc volvió a señalar la dilatación irregular del agua en 1772.

En el siglo XIX, la dilatación del agua fué estudiada especialmente por Hope, Hallstrom, Rumford y Despretz. Hope y Rumford propusieron, independientemente, métodos parecidos, en 1805. Hallstrom propuso su método en 1825. De 1837 a 1839, Despretz realizó sus investigaciones por el método del dilatómetro y demostró que la supuesta "irregularidad" de la dilatación del agua es general a todos los líquidos.

En 1897, Diesselhorst, Scheel y Thiesen estudiaron la misma cuestión por medio del método de los vasos comunicantes, que fué imaginado por Dulong y Petit en 1818, para determinar la dilatación del mercurio, y que fué perfeccionado por Regnault.

CAPITULO II

CALORIMETRIA

---

1. *Calor específico y calor latente* (véase Black). — Black, en 1726, observó que la cantidad de calor necesaria para fundir nieve es veintiuna veces mayor que la que se invierte en elevar la temperatura de una masa igual de agua en 7º Fahrenheit, y demostró que, para disolver nieve, se debe mezclar ésta con una masa igual de agua a 176º Fahrenheit. Estos dos experimentos, que significan el descubrimiento del "calor latente", dan el valor de 80 calorías al calor de fusión del hielo. Black atribuyó este "escondimiento del calor" a una combinación del "calórico" con el agua, mientras Crawford creía en un "aumento de la capacidad calorífica en el momento de la fusión", y Lavoisier y Musschenbroek hablaban de la fusión como disolución del sólido en el calórico, como la sal se disuelve en el agua.

En 1763, Black descubrió el calor específico. La Academia del Cimento ya había observado que una misma cantidad de calor no provoca en todos los líquidos un mismo aumento de temperatura, y los académicos atribuyeron este fenómeno a diferencias de "capacidad calorífica".

Boerhaave estudió la temperatura de mezclas, pero se equivocó en sus conceptos pues creía, como muchos otros sabios, que el termómetro determina cantidades absolutas de calor.

En 1750, Richmann estudió la temperatura de una mezcla de cantidades distintas de agua (a y b) a temperaturas distintas (t_1 y t_2) y obtuvo la fórmula:

$$t = \frac{at_1 + bt_2}{a + b}$$

Esta fórmula fué verificada por Wilke quien la aplicó a la mezcla de nieve y agua (1772).

Black estudió la mezcla de masas iguales de líquidos distintos, vió que la temperatura de la mezcla no es la media aritmética de las temperaturas de sus componentes y explicó esta irregularidad suponiendo que la cantidad de calórico necesaria para la elevación de la temperatura de un líquido depende de la naturaleza de este.

Wilke (1772) y Gadoline (1784) en sus estudios emplearon la expresión de "calòr específico" de los líquidos, pero Irvine, discípulo de Black, y Crawford empleaban la expresión "capacidad calorífica".

Wilke quiso reemplazar el método de las mezclas de Black por el método de la fusión del hielo para determinar el calor específico de los líquidos, pero encontró demasiadas causas de error y fueron Lavoisier y Laplace quienes realizaron el calorímetro de hielo, en 1780.

En 1796, J. T. Mayer propuso el método del enfriamiento, método basado en la ley del enfriamiento establecida por Newton (véase más lejos). Kirwan dió la primera lista de calores específicos de varios cuerpos.

Crawford, Clément-Desormes, Lavoisier y Laplace Gay-Lussac y Leslie estudiaron el calor específico de los gases, pero Delaroche y Bérard (1812) obtuvieron los primeros resultados exactos.

Hemos visto que Black obtuvo un valor muy exacto del calor de fusión del hielo; Lavoisier y Laplace, casi veinte años más tarde, le daban el valor mucho menos exacto, de 75 calorías.

Dulong, en 1829, volvió a ocuparse del calor específico de los gases.

Bunsen, en 1870, inventó su célebre calorímetro cuyo principio de la utilización de la dilatación del agua al congelarse se debe al físico ruso Hermann (1834) y fué, además, aprovechado por Herschel (1847) en un calorímetro parecido al de Bunsen. Todos esos aparatos tenían por fin disminuir la causa de error debida a la pérdida de agua que se mantiene adherida al hielo.

Favre (1813-1880) y Silbermann (1806-1865) inventaron un conocido calorímetro que fué perfeccionado por Jamin. Este sabio imaginó además un método especial para determinar la capacidad calorífica de los gases.

Regnault estudió el calor específico del agua por el método de las mezclas y se ocupó de la comprobación de los experimentos de Delaroche y Bérard sobre el calor específico de los gases por un método original (1862).

En 1865, Regnault determinó el calor de vaporización del agua en 537 calorías mientras que las determinaciones anteriores oscilaban entre 490 y 593 calorías. Estableció así una fórmula del calor de vaporización de los gases liquefiados por Faraday, estudio que fué continuado por Favre y Silbermann (1835) Chappuis (1888), Mathias (1890), Dewar (1905).

2. *Calor específico de los átomos.* (Véase Dulong). — En 1819, Dulong y Petit establecieron su célebre ley o regla: "Los átomos de los cuerpos simples tienen la misma capacidad calorífica". (o sea: "El producto del calor específico por el peso atómico es constante").

Esta regla nos hace pensar que los átomos de cuerpos simples sólidos realizan todos un mismo trabajo interior. Clausius estudió la ley desde el punto de vista de la energía interior; Neumann (1831) la generalizó a los cuerpos compuestos; Joule (1844), Woestyn (1848) y Kopp (1864) llegaron a expresar esta generalización: "La capacidad calorífica molecular de un compuesto sólido es igual a la suma de las capacidades atómicas de los elementos que lo componen". Boltzmann (1871), Weber (1875) y Richarz (1893) hicieron nuevas comprobaciones de la ley de Dulong y Petit.

3. *Ley del enfriamiento.* (Véase Newton y Dulong). — En 1701, Newton estableció su conocida ley del enfriamiento: "La cantidad de calor perdida por un cuerpo en un tiempo corto es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el ambiente". Esta ley de concepto muy sencillo fué estudiada experimentalmente por Dulong y Petit (1819), quienes demostraron que es exacta para excesos de más de 20 grados sobre la temperatura ambiente, y establecieron la "Ley de Dulong y Petit", no menos empírica, pero más amplia que la de Newton, en que se estudian además los factores que hacen variar la velocidad del enfriamiento.

La ley de Dulong y Petit fué estudiada por de la Provostaye y Desains, Stefan, Graetz y otros que demostraron que sólo es una regla empírica y no una ley natural.

El enfriamiento de los cuerpos en el vacío es estudiado en el calor radiante como ley de radiación. (Véase *Optica*).

CAPITULO III

CAMBIO DE ESTADO

1. *Evaporación.* (Véase Dalton). — Ya en las obras de Séneca se encuentran afirmaciones referentes al enfriamiento causado por la evaporación.

Dalton estudió la velocidad de evaporación y estableció que es proporcional a la superficie del líquido, a la diferencia entre la tensión del gas ambiente y la tensión del vapor saturante e inversamente proporcional a la tensión del gas ambiente.

2. *Estado esferoidal* (Véase Boutigny). — Fué observado por primera vez por Musschenbroek en 1734, luego por Euler en 1746. En 1756, Leidenfrost estudió el aspecto de gotas en planchas calientes al que se llamó "el fenómeno de Leidenfrost". En 1808, Bellani observó el fenómeno con un líquido caliente. Perkins observó el fenómeno en el enfriamiento de una caldera (1837.) Libri, Baudrimont, De Luca, Buff, Muncke, Doebereiner, hicieron observaciones aisladas. En 1840, Boutigny imaginó el nombre de "estado esferoidal" y estableció, en hermosos experimentos, las principales características de este fenómeno. Poggendorff y Tyndall imaginaron otros experimentos para hacer visible la distancia entre la gota y la plancha caliente.

3. *Vaporización.* (Véase Dalton). — Se admitió mucho tiempo la teoría de Leroy (siglo XVIII) sobre la vaporización, considerada como una disolución del vapor en el aire; pero Dalton (1803) destruyó esa teoría al demostrar que el vapor se comporta del mismo modo en el vacío que en el aire (Ley de Dalton).

Despretz (1818) estableció que el calor de vaporización es inversamente proporcional a la densidad del vapor a la temperatura de ebullición.

4. *Ebullición.* — Hemos visto (ver *Termómetros*) que Renaldini, Hooke y también Halley consideraban el punto de ebullición del agua como fijo. Newton, al contrario, lo consideraba variable.

Boyle observó la influencia de la presión y comunicó esta observación a Papin, quien inventó su célebre marmita en 1627.

Deluc (1772) estudió la influencia del aire disuelto en el líquido sobre su punto de ebullición.

5. *Tensión de los vapores saturantes.* — La primera determinación fué hecha por Ziegler en 1759; luego deben recordarse las determinaciones de Bétancourt (1792), de G. C. Schmidt (1800), Dalton (1805) y de Tomás Young (1807), quien dió una fórmula de la tensión de los vapores en función de la temperatura que fué adoptada por Coriolis, Tredgold, Dulong y otros. Debe recordarse también a Sydney Young que se ocupó de la misma cuestión en 1883.

Biot corrigió la fórmula de Dalton.

En 1814, Watt imaginó colocar unas gotas del líquido cuyo vapor se desea estudiar, encima del mercurio del barómetro y rodear la parte superior del tubo con un líquido de temperatura conocida. Gay-Lussac empleó el método de Watt y realizó así las primeras determinaciones de la tensión del vapor a temperaturas inferiores a 0°.

Despretz estudió la cuestión en 1822.

Dulong y Arago (1825-1830) estudiaron experimentalmente la tensión del vapor hasta 24 atmósferas y teóricamente hasta 50, y estos peligrosos experimentos fueron repetidos por sabios norteamericanos.

En 1843, Regnault realizó la determinación de la tensión por tres métodos distintos y simultáneamente con los experimentos de Magnus sobre la misma cuestión. Después de Regnault y Magnus, se recuerdan principalmente las determinaciones de Plücker (1854), Winkelmann, Ramsay y Sydney Young (1883), Cailletet (1892), Batelli (1892), Kelvin (1897).

6. *Vaporización total. Punto crítico.* — Cagniard (1822) estudió la vaporización total y descubrió el punto crítico, que determinó en el éter, el sulfuro de carbono y el agua; pero estos trabajos pasaron casi inadvertidos hasta que Faraday (1848), Mendeleieff (1860) y sobre todo Andrews (1869) estudiaron la misma cuestión.

7. *Liquefacción.* — En 1823, Faraday licuó el cloro y estudió la liquefacción en un trabajo que amplió en 1844. Sus principales predecesores en este estudio habían sido van Marum (1799), Monge, Fourcroy, Vauquelin, Guyton de Morveau, Northmore y, entre sus contemporáneos, Davy, Bussy, Perkins (1823), Colladon (1828), Maugham (1838), Natterer (1844).

En 1863, Andrews realizó experimentos a alta presión, con el ácido carbónico.

En 1877, Cailletet obtuvo la liquefacción de los gases todavía considerados como "fijos", con excepción del hidrógeno.

Al mismo tiempo que Cailletet, Pictet realizaba experimentos similares. Entre sus continuadores deben citarse a Kammerlingh Onnes, G. Claude, etc.

8. *Vasos Dewar.* — Los vasos Dewar fueron imaginados por este sabio en 1893, pero debe observarse que, en 1888, D'Arsonval había inventado el vaso de doble pared, aunque sin plateado interior.

9. *Influencia de la presión sobre la fusión.* — En 1849, J. Thomson (hermano de Kelvin) y, en 1850, Clausius, dedujeron de las fórmulas termodinámicas que cada atmósfera hace descender de 0°.00753 el punto de fusión del hielo.

Kelvin comprobó experimentalmente esta afirmación, en 1850, con una especie de piezómetro.

10. *Sobrefusión.* (Véase Gay-Lussac). — Fahrenheit descubrió la sobrefusión en 1724; Black y De Mairan se in-

teresaron en el estudio del mismo fenómeno. Gay-Lussac logró obtener agua a -12°C. Despretz y Dufour llegaron hasta -20°. Gernez, en 1882, realizó interesantes experimentos y estableció la ley de la velocidad de la solidificación del líquido sobrefundido, ley que fué estudiada luego por Tammann (1897). Este sabio estudió la sobrefusión en 153 sustancias distintas.

De Coppet defendió, desde 1875, una teoría cinética de la sobrefusión.

11. *Crioscopia y tonometría.* (Ver Raoult). — En 1788, Blagden estableció que: "El descenso del punto de congelación de una disolución es proporcional a su concentración", pero observó excepciones de su propia ley. Hasta 1862, estos trabajos de Blagden permanecieron en el olvido, pero Rudorff volvió a estudiar la ley de Blagden y explicó sus excepciones. En 1871 y 1872, De Coppet agregó que, para sales químicamente iguales, el descenso es el mismo si se disuelven cantidades proporcionales a su peso molecular. Raoult en fin, de 1878 a 1884, estableció su conocida ley y amplió tanto este estudio que es considerado como el fundador de la crioscopia.

Raoult hizo otro tanto con la tonometría en cuyo estudio figuran también los nombres de Babo, Wullner, Tammann y Van't Hoff.

12. *Higrometría.* (Véase Saussure y Daniell). — Vinci parece haber sido el inventor del primer higrómetro de absorción.

Porta observó la condensación de vapores refrigerantes, pero esto no le hizo descubrir el higrómetro de condensación.

Mersenne hizo un higroscopio de absorción con una tripa cuyas variaciones de tensión producían variaciones en el tono de su sonido, pero la idea de usar materias orgánicas con este fin ya había sido emitida por Cardano y por Sanctorio.

La Academia del Cimento empleó el primer higrómetro de condensación.

En 1751, Leroy también determinaba el estado higrométrico por el punto de rocío en un frasco lleno de hielo y, en 1820, Daniell inventó el conocido higrómetro que lleva su nombre.

En 1755, Horacio de Saussure imaginó su higrómetro de cabello con graduación y lo construyó en 1781.

CAPITULO IV

MAQUINAS TERMICAS

---

1. *Máquina de vapor.* — La historia de la máquina de vapor puede dividirse en dos grandes períodos: el período de especulación y el período de aplicación.

En el primer período se recuerda la eolípila de Heron, verdadera máquina de reacción, los escritos de Cardano, que preveía la utilización del vapor como generador de fuerza, las máquinas de presión de Porta (1601) y de Causs (1615) y la máquina de Branca (1629), que fué la primera turbina.

En el período de aplicación deben citarse a Worcester, Papin, Huyghens, Savery, Desaguliers, Newcomen y Watt.

Los derechos de Worcester no están bien establecidos. Papin describió su marmita en 1681 con el invento de la válvula de seguridad; dió el principio de la máquina de pistón con Huyghens en un proyecto de máquina de pólvora; en 1690, describió la primera máquina de vapor de pistón y, en 1707, construyó el primer barco de vapor, pero con una máquina de Savery.

En 1698, Savery construyó la primera máquina de vapor práctica y Desaguliers la perfeccionó en 1718.

En 1705, Newcomen patentó la primera máquina de vapor que sirviera de motor universal para la industria, pero su invento deriva de los de Papin y de Savery.

En 1765, Watt concibió la separación del condensador y del cilindro; inventó sucesivamente la máquina rotativa que fué realizada por Pecqueur, una máquina de simple efecto (1774), de doble efecto (1782), el martillo de vapor (1784), el paralelogramo articulado (1784), una locomotora (1784), el regulador de fuerza centrífuga (1784), el manómetro de mercurio (1785), el indicador o tubo de nivel (1785).

En 1827, Seguin inventó su conocida caldera tubular en cuyos tubos circula el aire caliente, mientras que en las calderas tubulares de Perkins o de Dallery, de invento anterior, era el agua misma que circulaba por los tubos.

2. *Locomotoras.* — La locomoción a vapor fué creada por los esfuerzos sucesivos de Nicolás Cugnot (1769), Murdoch (1784), Ratt (1784), Symmington (1786), Trevithick (1803), Griffith, Gordon, Gurney, Hill, Burstall, Ogle, Summers, Dance, Hancock, Anderson, James, Macerone, Heaton, etc.: pero especialmente de Jorge Stephenson, que construyó su primera locomotora en 1814 e inauguró, quince años más tarde, los ferrocarriles para viajeros. Su hijo, Roberto Stephenson, fué su colaborador y continuó su obra e inventó el distribuidor.

3. *Barcos de vapor.* — En 1701, Papin construyó un bote de vapor con máquina Savery; en 1763, Guillermo Henry construyó un barco de paleta con máquina de Watt, pero esta embarcación se hundió; igual desgracia sucedió al Conde Auxiron, en 1774, pero su socio el Marqués de Jouffroy hizo ensayos satisfactorios en 1783, y también fueron satisfactorios los ensayos de Rumsey en 1786.

De 1785 a 1790, Fitch resolvió verdaderamente el problema a pesar de que se recuerde generalmente sólo a Fulton, quien, en 1797, inventó un submarino y, en 1803, construyó su célebre barco de vapor. En la misma época, Dallery, inventor de una caldera tubular, construía un barco con hélice, pero fracasaba por falta de ayuda.

4. *Motor de explosión.* En 1816, Stirling inventó un motor de aire caliente que fué realizado por Ericsson. Davy, en 1820, previó el motor de explosión, que fué inventado por el belga Lenoir, en 1860.

5. *Producción del frío.* (Ver Tellier). — En 1662, Boyle imaginó el enfriamiento por mezclas refrigerantes. En 1868, Lahire siguió el mismo estudio. En 1755, Cullen helaba agua por el vacío de la máquina neumática. En 1811, Leslie aprovechó la observación de Nairne de que el ácido sulfúrico absorbe el vapor de agua, para acelerar con ácido sulfúrico la evaporación del agua y provocar así su congelación bajo la campana de la máquina neumática. En 1823, Faraday observó el enfriamiento por evaporación en el amoníaco licuado. En 1834, Perkins patentó una máquina frigorífica de principio moderno, en que el enfriamiento era producido por la evaporación del éter.

En 1845, Gorrie inventó una máquina en que el frío se debe a la expansión del aire comprimido. En 1855, Windhausen construyó otra máquina de aire que se empleó mucho en la industria. En 1857 y 1859, Carré inventó sus máquinas de absorción de éter y de amoníaco. Tellier reemplazó el éter ordinario por éter metílico, en 1863. En 1875, Pictet inventó su máquina de compresión con ácido sulfúrico y Linde empleó el amoníaco (1875) y luego el ácido carbónico (1882). Tellier aplicó la producción del frío a la conservación de la carne y, en 1876, mandó un barco frigorífico a Buenos Aires.

CAPITULO V

TERMODINAMICA

---

1. *Primer principio.* — En 1842, Roberto Mayer estableció el primer principio de la termodinámica, que históricamente es posterior al segundo. Entre los precursores di-

rectos de Mayer debe citarse a Rumford, que, con su célebre experimento de 1798, trataba de establecer el equivalente mecánico del calor; a Davy (1799), Young (1807) y Ampère, que reconocieron la exactitud de las nuevas ideas de Rumford; a Seguin (1839) y a Mohr (1837) que expresaron ideas parecidas a las de Mayer aunque no les dieron como éste su verdadera importancia; a Colding, en fin, que, en 1842, hacía una determinación del equivalente mecánico del calor.

No puede incluírse a Sadi Carnot simplemente entre los precursores de Mayer, pues es este un caso particular. En las notas inéditas de Sadi Carnot, encontradas después de la muerte de este sabio, se encuentra un enunciado claro del primer principio, una determinación exacta del equivalente mecánico y un programa completo de experimentos que comprueban que, si estos manuscritos se hubiesen conocido antes de 1842, Carnot hubiera sido el único fundador de la termodinámica, gloria que ahora sólo puede compartir con Mayer.

Buscándose más lejos el origen del primer principio, puede recordarse que Descartes creía en la conservación del movimiento o de la "cantidad de movimiento", que Leibnitz y Huyghens hablaban de la conservación de la fuerza viva y que Lavoisier y Faraday expresaron muchas ideas concordantes con el primer principio.

Helmholtz fué considerado por algunos como el fundador del primer principio por su célebre "Memoria sobre la conservación de la fuerza" de 1847; él mismo reconoció más tarde los derechos de Mayer, pero el trabajo de Helmholtz conserva todo su valor histórico, pues agregó a los conceptos filosóficos de Mayer y a los trabajos experimentales de Joule, una necesaria teoría matemática.

Joule (1843) midió directamente el equivalente mecánico del calor en un experimento que podría llamarse "el ideal del experimento de Rumford" y su método fué adoptado por Favre, Hirn (1858), Rowland (1879), Michelson y otros. Joule empezó sus experimentos en 1840, simultáneamente con Mayer, pero los hizo conocer en 1843, un año

después de Mayer; no tenía, pues, derecho a discutir a éste la prioridad del establecimiento del primer principio.

Joule estudió el experimento de Gay-Lussac que demuestra que al dilatarse un gas en el vacío no aumenta de temperatura y dedujo de allí la "ley de Joule": "La energía interna de una masa de gas perfecto es independiente de su volumen y sólo depende de su temperatura".

Más tarde (1851), a solicitud de Kelvin y en colaboración con él, Joule verificó esta ley y demostró que sólo es exacta para los gases "perfectos" que siguen la ley de Boyle-Mariotte, mientras que los gases que se comprimen más de lo indicado por esta ley se enfrían al dilatarse en el vacío.

La obra de Joule ha sido, pues, casi simultánea con la de Mayer; pero mientras la obra del inglés es absolutamente experimental, la del sabio alemán era teórica y hasta filosófica. Mayer, sin embargo, imaginó un experimento para la determinación del equivalente mecánico del calor, basado en el experimento de Gay-Lussac, al que nos referimos más arriba.

En 1849, Rankine empezó su importante estudio de la termodinámica; emitió un nuevo concepto acerca de la composición de la materia (véase *Atomos*); introdujo los términos de "energía actual" (Kelvin la llamó "cinética"), y Rankine la definió como "la capacidad de producir trabajo". Enunció el primer principio: "La suma de la energía potencial y actual del Universo es constante". La obra de Rankine "Sobre energética" (1855) fué el manifiesto adoptado por los adversarios del mecanismo cartesiano. Emitió también la hipotética teoría de la "reconcentración de la energía" para no verse obligado a admitir, como Clausius, Balfour, Dewar, Kelvin, Dupré, etc., que el mundo marcha hacia su fin.

De 1853 a 1876, Hirn realizó numerosos experimentos; comprobó experimentalmente muchas afirmaciones de la teoría de Rankine sobre la termodinámica de la máquina de vapor; imaginó numerosos métodos de determinación del equivalente mecánico del calor y especialmente "el método del choque", que le dió el valor de 425.2.

De 1878 a 1880, Rowland, que acababa de descubrir el fenómeno que lleva su nombre, hizo varias determinaciones del equivalente mecánico del calor por el método de Joule, y obtuvo el valor de 428.2, que fué considerado como el más exacto obtenido hasta entonces.

Violle, hacia la misma época, realizaba una determinación del equivalente mecánico por el calor producido en un cuerpo que giraba en un campo magnético por la acción de un cuerpo cadente.

Segundo principio. — En 1824, Sadi Carnot estableció el segundo principio de la termodinámica en su inmortal opúsculo de "Reflexiones sobre la fuerza motriz del calor". En este estudio, Carnot imaginó el ciclo cerrado y el ciclo reversible para el máximum de rendimiento de su "máquina ideal".

Carnot empleó la terminología de los partidarios del calórico material, pero expresó sus dudas sobre la exactitud de esa teoría. Estableció el célebre "teorema de Carnot" basándose en la imposibilidad del movimiento perpetuo y prescindiendo así del primer principio, que sólo concibió hacia 1830.

En 1834, Clapeyron dió un desarrolló analítico al principio de Carnot, pero conservó la terminología de éste. Kelvin mismo, de 1849 a 1851, no se atrevía a introducir los conceptos del primer principio en el de Carnot por "miedo de innumerables dificultades". Fué Clausius quien modernizó el segundo principio que por esto se llama "principio de Carnot-Clausius".

En 1852, Kelvin publicó dos importantes memorias en que trata de la "disipación de la energía utilizable por el hombre", que Tait llamó más tarde: "la degradación de la energía".

En 1854, Clausius (véase) introdujo el concepto de la entropía, que causa malestar por su abstracción matemática.

Desde 1866, Boltzmann se ocupó del segundo principio de la termodinámica y lo estudió por el cálculo de las probabilidades. Imaginó, como lo hiciera Rankine (véase

en el primer principio), una hipótesis para evitar la conclusión de que el mundo marcha hacia su fin, y trató de demostrar que, si ahora el segundo principio significa el paso de un estado menos probable a un estado más probable, nada impide suponer que en otros tiempos pueda ser más probable el fenómeno inverso.

En 1884, Helmholtz se ocupó del desarrolló del segundo principio tomando como base la teoría de los sistemas monocíclicos y llegando a una generalización del principio de la mínima acción.

En 1876, Gibbs publicó su "Equilibrio de los sistemas heterogéneos" con que extendió definitivamente la termodinámica a la química, como habían empezado a hacerlo Pelin, Moutier y Hortsmann. Pero la obra de Gibbs, demasiado matemática, no empezó a ejercer su influencia sino al principio de nuestro siglo, después de los comentarios de van der Waals, Bakkuis, Roozeboom, Ostwald, Mouret y P. Duhem.

CAPITULO VI

CONDUCTIBILIDAD DEL CALOR

La diferencia de conductibilidad calorífica de los cuerpos fué observada de todo tiempo y en los antiguos se ven ya observaciones de cierto valor, como la de Plinio, por ejemplo, que sabía que el agua dulce no tiene la misma conductibilidad que el agua de mar; pero este, como tantos otros problemas del calor, no pudo ser estudiado sino desde el siglo XVII o sea después del invento del termómetro.

Newton, Richmann, Franklin, Ingenhousz y Rumford estudiaron, por distintos métodos o aparatos, la conductibilidad de los principales sólidos, pero, el estudio teórico amplio de esta cuestión fué hecho genialmente por Fourier

en 1807. Poisson continuó la obra matemática de Fourier, aunque esté en desacuerdo con este sabio en varias hipótesis fundamentales. Despretz confirmó experimentalmente los resultados teóricos de Fourier.

La conductibilidad de los sólidos fué estudiada por Peclet, Biot, Meyer, Forbes, Wiedemann y Franz, Angstrom, F. Neumann, Calbert, Johnson, Hesehous, H. F. Weber, F. Kohlrausch, Kirchhoff, etc., y entre los aparatos que con tal fin se imaginaron deben recordarse el de Ingenhousz para las varillas, el termómetro de contacto de Fourier para las láminas y el aparato de barra metálica prismática empleado por Despretz.

De la Rive y Candolle (1828) estudiaron la conductibilidad irregular de la madera. Senarmont trató la conductibilidad de los cristales (1847).

La conductibilidad calorífica de los líquidos fué considerada nula por Rumford en 1792 y 1804, pero ésta errónea afirmación fué rebatida por Deluc, Socquet, Murray, Nicholson, Parrot, Pictet y Despretz. Este último sabio (1839) determinó la conductibilidad de varios líquidos por medio del método de la columna, al que se prefirió más tarde el método de la lámina, imaginado por Guthrie (1868-1869).

Weber también cooperó al estudio de la conductibilidad de los líquidos por un desarrollo del método de la lámina y por el establecimiento de una ley general.

La conductibilidad calorífica de los gases, tan difícil de estudiar, fué descuidada durante mucho tiempo, pero fué estudiada teórica y experimentalmente por muchos sabios del siglo XIX. Los principales estudios teóricos se deben a Maxwell, Clausius, Boltzmann y Meyer y las principales investigaciones prácticas fueron realizadas por Kundt, Warburg, Crookes, Bottomley y sobre todo por Andrews, Magnus (1861) y Stefan (1872).

LIBRO III

ACUSTICA

No se sabe, desde qué tiempo el hombre ha observado que todo sonido es el resultado de una vibración y que esta vibración se propaga por el aire. Aunque sea difícil separar por completo la Acústica, capítulo de la física, de la música, puede afirmarse que, excepción hecha de los trabajos de Pitágoras, la historia de la Acústica recién principia a fines del siglo XVII, con Mersenne, Galileo, Newton, Sauveur, Bernoulli, Euler, etc.

1. *Cualidades de los sonidos.* — De todo tiempo se habían distinguido empíricamente las tres cualidades del sonido: el tono, el timbre y la intensidad.

Aristóteles creía que los distintos tonos se deben a diferencias de velocidad en su propagación, pero Gassendi (1624) atribuía el tono a la frecuencia de las ondas a pesar de su concepto atomístico del sonido.

Monge, en 1793, atribuyó el timbre a armónicos y esta afirmación fué confirmada por Haldat (1851). Los sonidos armónicos eran además conocidos por los físicos del siglo XVIII y hasta por los del siglo XVII (ver *Cuerdas*).

Helmholtz, que puso orden a los estudios de acústica, diferenció perfectamente el tono, el timbre y la intensidad y demostró que en los sonidos absolutamente puros sólo podrían existir la intensidad y el tono, pues el timbre se debe a sonidos secundarios o armónicos superiores. Mostró también que en los ruídos esos sonidos secundarios apagan al sonido principal.

La relación entre la intensidad del sonido y la distancia han sido objeto de numerosas comprobaciones experimentales entre las cuales se destacan las de Wien y de Duff (1898) en el siglo XIX, y las de Rayleigh por la presión ejercida por las vibraciones sonoras, a principios de nuestro siglo.

2. *Gamas, intervalos.* — Pitágoras, con su monocordio, estudió la relación entre los sonidos, pero no se sabe hasta dónde se extendieron sus investigaciones, aunque se suponga que todas las citaciones de los antiguos provienen de la escuela de Pitágoras.

Pitágoras propuso la anotación matemática de los intervalos, pero fué combatido, y en Grecia se adoptó un sistema inspirado por las sensaciones. Euclides y Eudoxio de Cnides figuran entre los partidarios de la música matemática.

No se sabe cuándo se inventó la gama; se atribuye la introducción de los términos "do, re, mi", etc., a Guido d' Arezzo (siglo XI) y del "si", a van der Putten o a Lemaire, en el siglo XVII. Las notas se deberían a Moeurs en el siglo XIV o a Franco de Colonia, en el siglo XIII.

3. *Medida de la altura, límites de perceptibilidad.* — En 1702, Sauveur propuso un método de la medida de la altura de los sonidos por las pulsaciones; Euler (1739) propuso determinarla por la fórmula de Taylor, y Stancari, a principios del siglo XVIII, inventó el método de la rueda dentada, adoptado por Savart en 1819. En esta última fecha, Cagniard de la Tour inventó la sirena, que fué perfeccionada por Seebeck y por Cavaillé Coll.

Sauveur, Stancari, Sarti, Euler, Cagniard, Savart y Chladni trataron de establecer los límites de perceptibilidad de los sonidos. Sauveur los limitaba a 12 y 6.400 vibraciones (o, si se prefiere, 25 y 12.800), Savart a 8 y 24.000 (ó 16 y 48.000) y Chladni a 23 y 27.000. Despretz demostró que Savart debió confundir con el sonido fundamental un sonido secundario superior cuando fijó en ocho vibraciones el límite inferior; pero Despretz llevaba el límite superior a más de 70.000 vibraciones.

Helmholtz, inventó una bocina doble y fijó el límite inferior a 28 vibraciones.

Estos límites son imposibles de determinar con exactitud. En estos últimos años se destacan los trabajos de Abraham, Lord Rayleigh y de Wien sobre esta cuestión.

Debe recordarse aquí también el método óptico de Lissajous para la comparación del número de vibraciones de dos diapasones, también aplicable al estudio de la altura de los sonidos.

4. *Propagación y velocidad del sonido.* — Hemos dicho que los antiguos sabían que el sonido se propaga en el aire. Aristóteles creía que los distintos tonos tienen velocidades distintas. Gassendi hizo, en 1624, una determinación de la velocidad del sonido en el aire y demostró que los graves y los agudos tienen la misma velocidad.

Como otras medidas citaremos las de Mersenne (1640), de Borelli y Viviani (1665), de la Academia del Cimento, de Boyle, de Roemer, Picard, Cassini y Huyghens de Walker, de Halley y de Roberts, que varían en sus resultados de 331 metros a 495 met./seg. La Academia de Ciencias hizo hacer una determinación, en 1738, que dió el resultado de 333 mts./seg.

En 1822, la Oficina de Longitudes hizo realizar una determinación por Arago, Prony, Bouvard, Gay-Lussac y Humboldt, quienes obtuvieron el valor de 330 m. 8 a 0° centígrado, mientras los holandeses Moll y van Beck encontraban 332.049 m|s.

Deben recordarse también las determinaciones de Franklin, Parry y Forster en las regiones árticas (1822-24), de Kendall (1825), de Bravais y Martins en las alturas de Suiza (1844) y el interesante método de Boscha.

Desde el punto de vista teórico, Newton estableció la fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{p.\ g}{D}}$$

que no coincide con la práctica.

Euler criticó esta fórmula; Lagrange quiso poner de acuerdo a Newton y a Euler sacrificando la ley de Boyle-Mariotte; pero en 1815 y 1823, Laplace estudió la velocidad del sonido en el aire y modificó la fórmula de Newton considerando los cambios de temperatura e introduciendo un factor nuevo igual a la relación constante entre el calor específico del gas a presión constante y su calor específico a volumen constante.

En 1705, Derham había estudiado la influencia del viento sobre la propagación del sonido, negada por Borelli y Viviani, y había establecido que los sonidos se propagan igualmente en todo sentido e independientemente de su tono o de su intensidad.

En 1719, Mairan creía necesario considerar que el aire está formado por partículas de elasticidad distinta para explicar la misma velocidad de propagación de los distintos tonos.

En 1740, Bianconi estudió la influencia de la temperatura sobre la velocidad del sonido independientemente de La Condamine que la observaba en su viaje a América del Sur; y los resultados de estos sabios fueron confirmados por Benzenberg en 1811.

En 1772, Priestley estudió la propagación del sonido en distintos gases y estableció que su velocidad es proporcional a la densidad del gas. Esta cuestión fué estudiada después por Perolle (1781), Chladni y Regnault (1862-1866).

En 1842, Doppler descubrió el conocido fenómeno que lleva su nombre y es aplicable también a la óptica, o sea la influencia del movimiento del observador o de la fuente sobre la percepción de un sonido o de la luz. Este fenómeno fué comprobado experimentalmente por Buys Ballot (1845), por Scott Russell (1850) y por Vogel (1875).

En 1812, Biot observó que un tubo de mil metros de largo conserva toda su intensidad a la voz por bajo que se hable. Con este mismo tubo metálico de las cañerías de París, determinó la velocidad de propagación del sonido en los sólidos, que Kircher (1650) ya conocía sin haberla determinado, que Bacon negaba y que Hocke (1665) afirma-

groso concepto de la "acción a distancia". Y es éste otro de los grandes méritos de este genio holandés.

Newton, a pesar de ser partidario de la teoría de las emisiones, atribuía también al éter propiedades físicas tales como una elasticidad perfecta, sin viscosidad, partículas muy pequeñas de enorme repulsión, densidad variable, según el cuerpo en que se encuentre. Basándose en esta última caractrística, Newton esbozó una hipótesis sobre el origen de la gravitación.

Juan Bernoulli atribuyó la elasticidad del éter a torbellinos.

Young se representaba el éter como un flúido rarificado que atraviesa todos los cuerpos como el viento en las ramas de los árboles, pero le atribuía al mismo tiempo propiedades de los sólidos y lo suponía (1804) absolutamente inmóvil.

Fresnel (1818) suponía el éter inmóvil, pero arrastrado por los cuerpos refringentes en movimiento. Dió la siguiente fórmula de este arrastre del éter:

$$u = \frac{n^2 - 1}{n^2}$$

que Fizeau comprobó obteniendo interferencias con rayos de luz, que atravesaban un tubo dividido longitudinalmente en dos partes recorridas por corrientes de agua de sentido opuesto.

Stokes (1845) defendió la hipótesis de la participación del éter al movimiento de la Tierra. El experimento de Fizeau fué comprobado por Michelson y Morley, en 1878, pero Zeeman consideró que no comprueba la hipótesis de Fresnel y que confirma, al contrario, el concepto de la inmovilidad absoluta, pues es la onda que varía con el movimiento del agua y no el éter mismo. Michelson imaginó, en 1881, su célebre experimento que consiste en tratar de obtener interferencias entre un haz de luz de sentido opuesto al movimiento de la Tierra y un haz de luz de dirección perpendicular a este movimiento. El resultado fué negativo

por más que repitiera el experimento en condiciones cada vez mejores, con Morley en 1885 y con Miller, en 1905. De este resultado negativo sólo podría deducirse o que el éter no existe o que es móvil. Hertz había querido defender la hipótesis de la movilidad completa del éter, pero no pudo conciliarla con la experiencia y especialmente con la aberración de la luz, la experiencia de Fizeau y la experiencia de Rowland. Lorentz repitió, en 1902, los experimentos de Michelson y confirmó su resultado negativo, pero trató de conciliarlo con la hipótesis de la inmovilidad del éter, por la hipótesis de la contracción de la materia en movimiento en el éter y atribuyendo a la contracción de los aparatos un efecto tal que anularía exactamente la percepción de las interferencias. De estas hipótesis, Lorentz sacó muchas consecuencias tan interesantes como el principio de relatividad y la afirmación de que la luz es la velocidad máxima existente. Esta curiosa hipótesis de la contracción fué emitida por Fitz Gerald en la misma época que por Lorentz; y Larmor trató de detallar el mecanismo del éter causante de esta contracción. Righi trató, por su parte, de demostrar la causa del resultado negativo del experimento de Michelson por la teoría de Huyghens y sin necesidad de hipótesis nueva.

Kelvin consideraba la existencia del éter como indiscutible; le atribuía una elasticidad perfecta, una densidad infinitamente pequeña, una compresibilidad infinitamente grande y se oponía a los cálculos de Green, estableciendo que la velocidad de las vibraciones longitudinales del éter es infinitamente pequeña.

En 1902, Mendeleieff propuso considerar el éter como un gas muy rarificado y lo incluyó en su conocida tabla periódica de elementos. O. Lodge sostuvo un criterio parecido, y debe recordarse también que Cauchy había emitido hipótesis acerca de los átomos del éter.

3. *Velocidad de la luz* (véase Fizeau, Foucault, Cornu). — Hasta el siglo XVII no se pudo realizar ninguna determinación de la velocidad de la luz; pudo creerse pues,

en la absoluta instantaneidad de su propagación aunque ya, entre los antiguos, Herón afirmara que la velocidad de la luz es tan grande que no se puede medir. Al Hazen y Ptolemeo también se oponían al criterio general de la instantaneidad al cual volvió Porta. Galileo propuso un método para determinar la velocidad de la luz absolutamente irrealizable a causa de su gran velocidad que hizo vanos los ensayos efectuados por los Académicos del Cimento en tal sentido, pero dejó sentada así su convicción en la conmensurabilidad de la velocidad de la luz. Descartes volvió a defender la hipótesis de la instantaneidad de la propagación de la luz con su teoría de la presión. En 1675, Domingo Cassini dió a Roemer el principio del método astronómico que éste realizó con todo éxito (1676), pero el mismo Cassini no tuvo fé en su propia idea y dejó a Roemer toda la gloria de su realización.

En 1727, Bradley imaginó otro método astronómico basado en su descubrimiento de la aberración y obtuvo el valor de 298.200 km/seg. Esta determinación de Bradley venció en fin la oposición que se había levantado contra la medida de Roemer, oposición fundada en la creencia cartesiana en la instantaneidad.

En 1838, Arago imaginó, sin realizarlo, el método físico por espejos giratorios, precursor del método que fué empleado por Foucault en 1849.

En 1849, Fizeau imaginó su conocido método físico de la rueda dentada con que obtuvo el valor de 313.300 km/seg. Foucault, por otra parte, obtenía el valor de 298.000 km/seg. Cornú (1871) hizo la crítica de los métodos de Fizeau y de Foucault; demostró que el último no se debía a Foucault solo, sino a Foucault y a Fizeau; realizó nuevas determinaciones con el método de la rueda dentada y obtuvo el valor de 300.330 km/seg.; sostuvo en fin, en 1900, que el método de la rueda dentada es más exacto que el de los espejos giratorios porque los rayos reflejados tienen mayor velocidad que los de la luz ordinaria, como lo demostró Newcomb y porque la rotación del espejo modifica la reflexión y provoca un movimiento del aire que influye sobre la ve-

locidad de la luz, como lo demostraron Fresnel y Fizeau. Cayleigh, Gibbs, Gouy y Schuster ya habían hecho la crítica del método de Foucault, en 1886. En 1901, Lorentz, continuó esos estudios; se ocupó especialmente de la influencia de la rotación del espejo y creyó poder afirmar que, siendo esta influencia despreciable, los métodos de Foucault y de Fizeau tienen la misma exactitud.

4. *Intensidad, fotometría* (véase Bouguer). — En todos los tiempos, el hombre ha diferenciado los distintos grados de intensidad de la luz.

Keplero, en 1611, dió la ley fundamental de la fotometría: "La intensidad de la luz es inversamente proporcional a la superficie iluminada". Francisco Bacon, en 1665, volvió a llamar la atención sobre la necesidad de estudiar las modificaciones de la intensidad de la luz.

Huyghens, en una obra póstuma de 1698, describió la comparación de la luz del Sol con la de Sirio; siendo esta la primera determinación fotométrica.

En 1700, Franz María ideó un fotómetro que consistía en acumular láminas de vidrio hasta volver invisible la luz cuya intensidad quedaba determinada por el número de láminas necesarias. Celsio pretendía determinar la intensidad de una fuente luminosa por la distancia en que cesaba de ser perceptible. En 1760, en una obra póstuma de Bouguer, se encuentran varios métodos fotométricos y, en el mismo año, Lambert publicó su "Fotometría" con la célebre ley de los cosenos, estudiada después por Fourier, Poisson, Melloni, Angstrom, etc., y extendida a la energía radiante en general. Rumford, en 1795, imaginó el fotómetro bien conocido que lleva su nombre.

En 1814, Wollaston comparaba la intensidad de la luz solar y de la luz de la Luna por las sombras que producen. Arago se ocupó activamente de fotometría e imaginó métodos basados en la doble refracción y la polarización de la luz.

En 1839, A. C. Becquerel inventó el primer fotómetro electroquímico.

En 1870, Bunsen construyó el fotómetro de mancha de aceite. Rumford ya había señalado la necesidad de establecer una unidad luminosa con una "luz normal", y eligió la lámpara Argand. Violle estableció la unidad de intensidad luminosa que lleva su nombre y que corresponde a la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino a su temperatura de fusión. Fué adoptada por el Congreso Internacional de Electricistas de 1884.

Son tan numerosos los fotómetros y métodos fotométricos que figuran en los distintos tratados de física que no podemos pretender historiarlos en esta breve síntesis.

5. *Alumbrado* (véase Lebon- Edison). — Los antiguos emplearon lamparitas de aceite de forma bien conocida; los celtas inventaron la vela en una época que no se ha podido determinar y este sistema de alumbrado fué conservado hasta el siglo XVIII.

En 1765, Bourgeois inventó el reverbero con lámpara de aceite que fué adoptado por la ciudad de París para el alumbrado público. En 1780, Argand inventó la lámpara con pico de doble corriente de aire, injustamente llamada "quinqué". Rumford la perfeccionó con aplicación de mechas concéntricas, pero sólo fué después del invento de la lámpara de Carcel, que este dispositivo fué hecho práctico por Fresnel y Arago.

En 1799, el ingeniero francés Lebon inventó el alumbrado de gas, pero fueron los ingleses quienes propagaron este nuevo sistema.

En 1813, se inició la historia del alumbrado eléctrico con el arco Davy, que fué perfeccionado por Foucault en 1844. Cinco años más tarde, Foucault y Staite inventaron el regulador automático, mientras Jamin y Jablochkoff buscaban otros métodos de regulación del arco.

En 1844, Starr inventó una lámpara eléctrica de varilla de carbón; de Changy (1858) perfeccionó esta primera lámpara de incandescencia y Edison la realizó y difundió (1880). Los perfeccionamientos ulteriores del alumbrado eléctrico no pertenecen ya a la física sino a la industria.

Hemos indicado, sin embargo, el invento del poderoso arco de mercurio realizado por Arons.

6. *Reflexión. Espejos.* — La simple observación de la reflexión y el invento de espejos metálicos o de piedra pulida pertenecen a la más alta antigüedad.

Platón o sus discípulos conocían la igualdad del ángulo de incidencia y del ángulo de reflexión. Arquímedes inventó los espejos ustorios para incendiar la flota romana. Heron estableció que la luz elige, al reflejarse, el camino más corto. Ptolemeo dió la teoría de los espejos planos y de los cóncavos. Al Hazen (980-1038) estudió la reflexión de los espejos planos, curvos, cóncavos, cónicos y parabólicos.

En el siglo XIII, R. Bacon determinó el foco del espejo esférico cóncavo, y en Lulio encontramos una referencia a los primeros espejos de vidrio azogados con plomo, mientras que los antiguos parecen haber empleado espejos de vidrio sin azogue.

Halley dió la fórmula general de la relación entre la distancia focal y la distancia entre los puntos conjugados en los espejos esféricos.

CAPITULO II

REFRACCION

---

1. *Refracción.* — La simple observación de la refracción, por fenómenos tan sencillos como el que describe Aristóteles, del palo que parece quebrarse al introducirse en el agua, debe pertenecer a una época muy remota.

Euclides (315-255) diferenciaba la refracción de la reflexión y le atribuía el aumento aparente de los astros. Cleomedio, un siglo antes de nuestra era, estudió seriamente

la refracción y enunció que el rayo de luz se acerca a la normal al penetrar en un medio más denso. Ptolemeo determinó el valor de la refracción de la luz en varios casos y estos resultados fueron corregidos por Al Hazen, quien estudió especialmente la refracción atmosférica y explicó por ella el crepúsculo.

Después de Ptolemeo, fué Keplero (1611) el primero que hiciera progresar notablemente el estudio de la refracción dando una regla aproximada que podía tener lugar de ley. Boyle afirmó que el índice de refracción de un cuerpo no varía con su densidad. Snell descubrió la ley de la refracción y la enunció:

$$n = \frac{\text{cosec. } r}{\text{cosec. } i}$$

pero este descubrimiento permaneció oculto en un manuscrito inédito, y Descartes (1637) volvió a descubrir la ley de la refracción por un estudio personal y como consecuencia de su concepto de la luz y la enunció:

$$n = \frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r}$$

Fermat reconoció la exactitud de la ley de Descartes pero se opuso a la consecuencia que de ella sacaba este sabio o sea que la luz encuentra menos resistencia en un medio denso que en un medio rarificado. Fermat consideró además que esta ley es una consecuencia del principio del mínimo esfuerzo, principio que Maupertuis generalizó más tarde.

En 1802, Wollaston imaginó su conocido método de determinación del índice de refracción de cuerpos opacos basado en la reflexión total, que fué generalizado por Malus, quien lo aprovechó para buscar nuevos argumentos en favor de la teoría de las emisiones. Borda inventó un prisma para la determinación del índice de refracción de los gases, pero murió antes de haber podido utilizarlo. Biot

y Arago lo usaron en 1806 y Dulong, que lo empleó en 1826, estableció por su intermedio una fórmula nueva.

La historia de los numerosos métodos de determinación del índice de refracción de las diversas sustancias en sus distintos estados, comprende a un gran número de sabios y es demasiado extensa para poder figurar en esta síntesis. Otro tanto podría decirse de los estudios acerca de las causas de variación del índice de refracción de una sustancia determinada. En este estudio figuran especialmente Newton, Laplace y Lorentz, cuya fórmula hemos mencionado. (Ver Lorentz).

2. *Reflexión total.* — Fué descubierta por Keplero (1611) y perfectamente explicada por Newton. Fresnel le atribuyó un retraso en la onda de un octavo de longitud. Esta apreciación fué discutida; Quincke creyó que es mucho mayor el retraso y Jamin defendió el cálculo de Fresnel.

3. *Espejismo.* (Véase Monge). — El espejismo era conocido por los antiguos y fué estudiado por Huyghens, pero Monge dió la primera explicación sencilla por refracción y reflexión total. Más tarde, deben señalarse las explicaciones de Wollaston, Biot, Gergonne, Tait, Bravais, Wood, Kummer, Schmidt, etc.

4. *Prisma.* — El prisma era conocido por los antiguos, pero es en Porta que se encuentra uno de los primeros estudios de la refracción especial en el prisma.

Newton estudió la dispersión en el prisma. Dollond construyó prismas donde se evitaba la dispersión y Amici (1860) inventó el "prisma de visión directa".

5. *Lentes.* — Los romanos ya usaban lentes; Séneca sabía que las gotas de agua o los globos de vidrio son verdaderas lentes de aumento, y Plinio contaba cómo encendía ciertos objetos con los rayos concentrados por una lente.

En el siglo XVI, vemos por Porta que se hacían muchas observaciones de la refracción de la luz en las lentes.

Keplero aplicó su regla de la refracción a la determinación del foco de las lentes, pero sólo resolvió el problema para las lentes plano-convexas y biconvexas.

En 1637, Descartes enunció una teoría de las lentes que fué destruída por Newton; pero fué reconocido como exacto su descubrimiento de la "aberración de la esfericidad" que le hacía preferir las lentes elípticas o hiperbólicas a las lentes esféricas. En este descubrimiento, sin embargo, habría tenido predecesores en Morólico y Keplero (1611). Cavalieri (1598-1674) determinaba la distancia focal de lentes cóncavas y convexas, pero es en las "Lecciones de Optica" de Barrow (1669), publicadas por su discípulo Newton, que se encuentra por primera vez en un texto un estudio general de la determinación del foco y de la imagen de las lentes para rayos paralelos y no paralelos.

Halley dió una fórmula para calcular la distancia de los puntos conjugados en las lentes esféricas, como lo hizo para los espejos.

6. *Lentes escalonadas.* (Véase Brewster y Fresnel). — Esas lentes imaginadas por Buffon y por Condorcet, fueron inventadas de nuevo por Fresnel (1822), quien las aplicó a los faros y perfeccionó así grandemente esos útiles aparatos. Los ingleses reclaman para Brewster el honor de ese invento, pero sus argumentos no parecen convincentes.

7. *Arco Iris.* — Los antiguos, que comentaron todos los fenómenos naturales con más o menos criterio científico, no hicieron excepción con el arco iris. Entre las apreciaciones que al respecto deben recordarse, figuran la de Aristóteles, quien sabía que cuanto más alto esté el sol más bajo se encuentra el arco y que éste es el resultado del paso de los rayos por gotas de agua; las afirmaciones de Séneca, que consideraba las nubes como espejos cóncavos en que se refleja una imagen del sol bajo forma de arco iris o que proponía también explicar su formación por una descomposición de la luz semejante a la que se produce en un triángulo (prisma) de vidrio.

Vitelio (1290) también atribuía el arco a una refracción de la luz en gotas de agua, pero negaba la altura de 42°. R. Bacon (1265) volvió a sostener la exactitud de la altura de 42°.

Teodorico (1311) emitió ideas sobre la formación de los dos arcos por la refracción, que no pudieron ser más exactas a causa de su desconocimiento de la ley general de la refracción, pero que denotan ya una comprensión bastante clara del fenómeno.

Fletcher (1530-1580) no pudo explicar la formación del arco por la refracción del rayo en una sola gota y creyó necesario el paso sucesivo de la luz por dos gotas.

Morólico, Porta y Gilbert también se ocuparon del arco iris como fenómeno de refracción.

Dominis (1611) dió una explicación que parece copiada de Teodorico. Descartes (1637) no hizo más que completar la explicación de Teodorico con la ley exacta de la refracción y pudo establecer así la teoría que enseñan todavía los trátados elementales de física.

Newton (1670) completó el estudio puramente geométrico de la marcha de los rayos que daba Descartes, con la explicación de la formación de los colores por descomposición de la luz blanca.

Pero la teoría de Descartes, que da una imagen tan clara y sencilla de la formación del arco iris, no es exacta y la primera teoría verdadera fué dada por Airy en 1837 y fué estudiada más ampliamente por Stokes (1850), Pertner y Mascart (1888).

CAPITULO III

INSTRUMENTOS DE OPTICA

1. *Microscopio.* — Se reivindican derechos al invento del microscopio compuesto para los italianos Fontana y Galileo y los holandeses Drebbel y Janssen.

Fontana sólo hizo valer sus derechos en 1648, más de treinta años después del invento. Los derechos de Drebbel no parecen mejor fundados. Galileo construyó un microscopio simple en 1612, pero los romanos ya conocían los vidrios de aumento; después, construyó un microscopio compuesto, pero parece haber sido más bien un perfeccionador que el inventor de este instrumento; fué además su primer introductor en Italia y tal vez el primer sabio que empleara el microscopio para observaciones científicas. Zacarías Janssen queda como presunto inventor del microscopio, en los primeros años del siglo XVII.

Entre los primeros resultados importantes de este invento debe recordarse especialmente la "Micrografía" que Hooke publicó en 1665.

En el siglo XVIII, Gray imaginó el sencillo "microscopio de agua".

2. *Anteojos de refracción.* — Los ingleses atribuyen el invento del anteojo de refracción a Rogerio Bacon; los italianos lo atribuyen a Porta o a Galileo; los holandeses defienden los derechos de Lippershey y de Zacarías Janssen, y Descartes creyó que el holandés Jacobo Mecio era su verdadero inventor. Otra tesis todavía tendería a probar que, antes de ser conocido en Europa, el anteojo había sido empleado por los chinos y los árabes.

R. Bacon tuvo el mérito de prever la posibilidad de construir un anteojo, pero no lo realizó. Porta (1589) enunció claramente su principio, pero agregó que empleaba este aparato "para amigos cuya vista era mala". Galileo fué el gran perfeccionador del anteojo, pero tuvo conocimiento de una descripción o aun llegó a tener entre sus manos un anteojo holandés, en 1609.

Los holandeses tienen, pues, causa ganada; pero debe decidirse entre Mecio, Lippershey y Janssen.

Mecio no fué sino un perfeccionador del anteojo, sin llegar tampoco a obtener los maravillosos éxitos de Galileo. Documentos encontrados recién en el siglo XIX demuestran, en fin, la prioridad de Lippershey (1608) sobre Janssen.

En 1617, Galileó inventó su conocido anteojo binocular. Keplero propuso grandes perfeccionamientos en la construcción de los anteojos, sin ponerlos en práctica, y Torricelli siguió sus indicaciones y construyó aparatos que alcanzaron más fama aún que los anteojos de Galileo.

Scheiner, conocido por su descubrimiento de las manchas solares a pesar de haber sido precedido en ello por Galileo, realizó también el anteojo de Keplero y lo empleó en ese descubrimiento.

Huyghens, Descartes, y en general todos los sabios de los siglos XVII y XVIII, se interesaron en el perfeccionamiento del anteojo o del telescopio.

Pero el anteojo de refracción debía ser forzosamente defectuoso mientras no se encontrara la corrección de la aberración cromática, que Newton consideraba inevitable. (Ver *Acromatismo*).

3. *Telescopio de reflexión.* — Según algunos autores, el invento del telescopio de reflexión sería tal vez anterior al invento del anteojo de refracción y su principio podría encontrarse en los árabes, pues éstos observaban la llegada de los barcos por medio de espejos cóncavos.

R. Bacon (siglo XIII) habría previsto el invento del telescopio; Diggs (1571) habría imaginado combinaciones de espejos que permitían ver muy lejos; pero esas afirmaciones no ofrecen mayor seguridad.

En 1616, Zucchi observaba por medio de una lente de aumento las imágenes de objetos lejanos producidas en un espejo cóncavo. Unos veinte años más tarde, Mersenne hizo un proyecto de telescopio, pero Descartes lo convenció de la inutilidad de sus esfuerzos y de la superioridad del anteojo de refracción. Más de veinte años transcurrieron todavía y Gregory (1663) proyectó en fin un telescopio verdadero con espejo parabólico perforado en su centro para la colocación del ocular con que se observa la imagen del espejo parabólico, reflejada en un pequeño espejo elíptico.

En 1670, Cassegrain construyó un telescopio con espejo grande esférico y espejo chico convexo. Al año siguien-

te, Newton reemplazó el espejo cóncavo de Gregory por un prisma o un espejo plano, para colocar el ocular en el costado del tubo.

En 1674, Hooke construyó por primera vez el telescopio de Gregory siguiendo fielmente sus indicaciones.

Herschel imaginó un nuevo tipo de telescopio, suprimiendo completamente el espejo chico e inclinando el espejo grande para observarlo directamente con el ocular en el costado del tubo.

El telescopio había caído un poco en el olvido, cuando Hadley, inventor del sextante (1731), le aportó serios perfeccionamientos, en 1703.

En el siglo XIX, hemos citado el perfeccionamiento aportado por Foucault al telescopio con sus procedimientos de plateado del espejo y con su "método de los toques" para la construcción de espejos parabólicos.

4. *Estereoscopio.* (Véase Brewster). — Euclides (siglo III antes de J. C.) ya sabía que la percepción simultánea de las dos imágenes distintas obtenidas, una por cada ojo, es la causa de la impresión de relieve. Esta explicación fué repetida por Vinci, por Porta, quien estuvo muy cerca del invento del estereoscopio, por Gassendi, por Haldat y otros.

Haldat fué el primero que tratara de construir un estereoscopio y Elliot (1834) proyectó definitivamente uno de esos aparatos, pero cuando lo construyó (1839), Wheatstone ya había realizado el estereoscopio de reflexión. En 1844, Brewster construyó el estereoscopio de refracción, menos voluminoso y mucho más práctico. No teniendo éxito en Inglaterra, lo llevó a París donde, después de cómicos contratiempos, logró hacerlo aceptar.

Las aplicaciones de la estereoscopía son numerosas. Helmholtz inventó un "telestereoscopio" que no es sino un gemelo prismático. En fotografía y en radioscopía los estereoscopios han sido también últimamente aplicados.

5. *Otros instrumentos.* — La cámara obscura era conocida por Bacon y por Vinci. Porta parece haber sido el

primero en utilizarla como aparato de experimentación y le introdujo la lente; Gravesande la hizo portátil y Nollet redujo sus enormes e incómodas proporciones.

Hooke tuvo la primera idea de la cámara clara, en 1665, pero ésta no fué construída sino en 1804 por Wollaston.

El helióstato fué inventado por Borelli en 1667 y Gravesande lo perfeccionó.

La linterna mágica era conocida por Kircher (1646) y por Hooke (1665).

Bouguer inventó el heliómetro.

El kaleidoscopio fué inventado por Brewster en 1819.

Wollaston inventó el goniómetro de reflexión, en 1809, y Malus lo perfeccionó y dió "el goniómetro repetidor".

El oftalmoscopio se debe a Helmholtz (1851).

CAPITULO IV

RADIACION. — DISPERSION

---

1. *Descomposición de la luz — Colores* (véase Newton, Young). — La composición de la luz y la explicación de los colores de los cuerpos fueron dilucidadas después de los célebres experimentos de Newton.

Antes del siglo XVIII, muchos fenómenos, como el arco iris por ejemplo, quedaban sin explicación a causa de los errores de concepto sobre la causa de los colores. En general, los sabios anteriores a esa época consideraban la luz solar como naturalmente incolora y atribuían su coloración accidental a la influencia de causas externas, como el aire o los cuerpos que la luz atraviesa.

Aristóteles explicaba que todos los colores están formados por el blanco y el negro y Goethe se inspiró en esa teoría.

Lucrecio ya hablaba de los distintos colores de la luz blanca y también Séneca sabía que un triángulo de vidrio (prisma) cambia la luz blanca en varios colores.

R. Bacon (1265) consideraba los colores como impresiones subjetivas causadas por los humores del ojo. Keplero (1611) los atribuía a distintos grados de absorción de la luz por los cuerpos. Dominis (1611), al estudiar el arco iris, explicó también sus colores como el producto de distintos grados de absorción de la luz solar, según el recorrido que ésta hace en las gotas de agua.

Descartes atribuía los colores a variaciones en el movimiento de las partículas luminosas.

Marci de Kronland, en 1648, observó la descomposición de la luz blanca con el prisma y su dispersión, y hasta afirmó que cada color así obtenido se conserva a través de otras refracciones, pero creía que por condensación se transforman unos en otros.

En 1663, Boyle escribió un tratado sobre los colores de los cuerpos en que emitió ideas bastante exactas: los cuerpos blancos son los que reflejan por igual toda la luz que reciben y los cuerpos negros son los que no la reflejan, los otros colores son grados intermedios entre esos dos extremos.

Grimaldi (1665), que creía que los colores se deben a distintas condensaciones de la materia luminosa a causa de los distintos tamaños de los poros de los cuerpos, observó también la dispersión sin explicarla.

Newton realizó sus célebres experimentos sobre la dispersión de 1666 a 1667, y dió su teoría de los colores, en 1671, según la cual la luz blanca debe ser considerada como la reunión de las luces coloreadas. En 1669, sin embargo, se encargó de la publicación de las "Lecciones de óptica" de su maestro Barrow en que se encuentra todavía una fantástica teoría de los colores.

Los experimentos de Newton no convencieron de inmediato a los sabios; Hooke, en 1671, afirmaba todavía que la luz blanca es una combinación de rojo y violado, y Huyghens, que no comprendió los colores en la teoría de las on-

dulaciones, atacó la teoría de Newton y creía que el azul y el amarillo bastan a la composición de la luz blanca.

El Padre Pardies también se opuso a Newton; y Mariotte se rehusó durante algún tiempo a creer en la veracidad de sus experimentos.

Euler en su "Nueva teoría de la luz" (1746) defendió la teoría de los colores por la diferencia de amplitud de las ondulaciones luminosas, explicación ya mencionada por Newton con cierta simpatía, a pesar de su afecto a la teoría de las emisiones.

Por las emisiones, la explicación de los colores necesitaba nuevas hipótesis y, entre ellas, la suposición de partículas luminosas de distintos grosores.

Wollaston (1802) consideró que son cuatro los colores fundamentales: rojo, verde, azul y violado. Young (1807) redujo este número a tres: rojo, verde y violado, pero Wollaston y Young fueron precedidos en este concepto de los colores fundamentales por Leblond (1737) y muchos otros físicos que estudiaron las combinaciones de colores, estudio que Vinci ya había iniciado en su célebre "Tratado de la Pintura".

Brewster (1834) sólo admitió como colores fundamentales el rojo, el amarillo y el azul. Maxwell, Helmholtz, Grassmann, Rayleigh y otros desarrollaron este estudio que se prosigue aún en nuestros días.

Goethe también propuso una teoría de los colores que es el resultado de la meditación de un artista genial, pero no puede figurar entre las teorías físicas, por su falta de base científica y de comprobación experimental.

2. *Espectro. — Rayos invisibles. — Análisis espectral* (véase Herschel, Bunsen y Kirchhoff). — En 1780, Scheele observó que los rayos violados del espectro tienen mayor acción química sobre el nitrato de plata que los otros colores. En 1800, G. Herschel descubrió los rayos infrarojos y, al año siguiente, Wollaston descubrió los rayos ultravioletas.

En 1802, el mismo Wollaston descubrió las rayas negras del espectro sin darles mayor importancia y, en 1815, Fraunhofer las estudió con toda detención.

En 1822, J. Herschel observó las rayas brillantes en los espectros de gases incandescentes y de numerosas sales y predijo la posibilidad del análisis espectral. En el mismo año, Brewster había realizado experiencias iguales con el cloruro de sodio observando la raya clara D.

Talbot (1834) hizo experiencias y afirmaciones parecidas y observó con el estroncio rayas rojas en el espectro y afirmó, como Herschel, que esta manifestación de las sales en su espectro llegaría a tener singular importancia en química.

Para el mejor estudio del espectro, los investigadores trataron de perfeccionar la lámpara de modo que su llama no influyera sobre las observaciones. Talbot buscó la solución en una lámpara de alcohol con mecha embebida en una solución de sal común; Brewster resolvió el problema con una lámpara de aceite en cuya llama se introduce aire en cantidad suficiente; Bunsen (1857) inventó su conocido "mechero"; Wheatstone (1835) buscó la forma de emplear el arco voltaico; Geissler, con su invento de los tubos que llevan su nombre, dió un nuevo procedimiento de observación del espectro de los gases; Drummond dió otra fuente de luz que fué utilizada por Kirchhoff en sus célebres investigaciones.

Brewster atribuyó las rayas obscuras a la absorción, estudió el espectro de absorción de varios líquidos y buscó, como Wrede, una explicación teórica de esos fenómenos. Wheatstone se interesó especialmente en el espectro de la luz eléctrica, observó distintas rayas según los metales que constituyen los electrodos y previó también el análisis espectral pues consideró, como Talbot, que las rayas son características del metal. Miller (1845) confirmó las ideas de Talbot y de Brewster y creyó poder afirmar que sólo los gases coloreados dan un espectro de absorción. Janssen (1871) negó esta afirmación. Poco después, Swan estableció terminantemente que la raya D caracteriza al sodio.

En 1849, Foucault observó que la raya clara D en el espectro del arco voltaico se vuelve obscura si se introduce luz solar en el arco, y esta observación señala a Foucault como uno de los más felices precursores del análisis espectral.

Despretz demostró que la intensidad de la corriente no influye sobre el espectro del arco. En 1855, Angstrom descubrió que los compuestos químicos de los metales dan espectros casi iguales a los de los metales puros, que un cuerpo incandescente emite las rayas que absorbe a la temperatura ordinaria y demostró que, contrariamente a lo que creía Wheatstone, el espectro en el arco voltaico no depende únicamente del metal de los electrodos sino también del gas ambiente pues, disminuyendo la presión de éste, se puede mantener sólo el espectro del gas.

Plücker, en 1858, estudió el espectro de gases encerrados en tubos de Geissler.

En 1859 y 1860, en fin, Bunsen y Kirchhoff establecieron definitivamente el análisis espectral basado en el descubrimiento de Kirchhoff de la igualdad del poder emisivo y del poder absorbente. El análisis espectral les permitió descubrir el cesio (1861) y el rubidio (1862), mientras Crookes descubría el talio (1862), Reich y Richter el indio (1864) y Boisbaudran el galio (1875).

En 1871, Zöllner estudió la influencia de las condiciones de los cuerpos emisores de luz en el espectro de rayas, estudio que fué continuado por Wullner (1879), Angstrom, Wiedemann, Janssen, Ebert, etc.

En 1883, Rowland perfeccionó mucho los medios de observación del espectro, produjo espectros solares de trece metros de longitud con 20.000 rayas distinguibles e inventó con ese fin varios útiles instrumentos.

La espectroscopía forma ahora un capítulo especial y muy extenso de la física, de la química y de la astronomía, y no podemos seguir los numerosos y provechosos estudios que forman su historia en el último medio siglo.

3. *Dispersión anómala* (véase Enrique Becquerel). — La dispersión anómala fué descubierta por Le Roux (1862)

en los vapores de iodo, por Christiansen (1870-71) en la solución alcohólica de fucsina y Kundt (1880) la generalizó a muchas substancias y estableció la relación entre la dispersión anómala y la absorción de los rayos. La explicación teórica de la dispersión anómala fué conseguida por la labor de Boussinesq (1861), Sellmeyer (1866-72), Helmholtz (1875) y Lommel (1878).

4. *Acromatismo* (véase Dollond). — Cuando Jaime Gregory proyectó, en 1663, su telescopio de reflexión, no conocía el inconveniente de la dispersión en las lentes del anteojo de refracción, y fué Newton quien hizo abandonar estos aparatos por considerar que la dispersión y la aberración cromática de las lentes no podían ser corregidas.

En 1695, David Gregory propuso construir lentes compuestas por varias materias a imitación del ojo humano, pero no dijo qué esperaba alcanzar con esta acertada idea.

Euler (1786) creía que los líquidos del ojo corrigen completamente la aberración cromática; Klingenstierna previó con toda exactitud la construcción de lentes acromáticas y tal vez sugirió su invento a Dollond, quien lo realizó en 1758.

El invento de Dollond fué completado con el invento de Boscowich del diasporómetro.

Otras combinaciones acromáticas de lentes fueron imaginadas por varios sabios entre los cuales se recuerdan a Fraunhofer, Herschel (1821), Barlow (1827), Gauss (1860).

5. *Calor radiante*. — El estudio del calor radiante pertenece al siglo XIX, pero se recuerdan algunas observaciones interesantes hechas en épocas anteriores. Los antiguos que consideraban conjuntamente la luz y el calor como manifestación del "fuego" unían los rayos luminosos a los rayos caloríficos. Plinio sabía que el calor solar atraviesa el agua sin cederle nada.

Porta (1553) y, más tarde, la Academia del Cimento, realizaron el primer experimento de calor radiante, observando que un espejo cóncavo refleja y concentra el calor o

"el frío"; y el miembro de esa Academia, Paolo del Buono, sabía que los rayos que atraviesan un lente de hielo no pierden calor.

Mariotte (1666) hizo la interesante observación de que el vidrio deja pasar todo el calor solar, pero detiene el calor radiante de una estufa. Esta observación no fué aprovechada por la ciencia sino con Melloni, en pleno siglo XIX.

Halley (1686) habla del calor radiante obscuro de la corteza terrestre. Lambert (1777) extendió las leyes de propagación de la luz al calor radiante y otro tanto hizo Scheele (1780).

Rochon (1783) estudió la temperatura de las diversas partes del espectro y creyó encontrar el máximum de temperatura en la parte amarilla. Herschel (1800), sin conocer estas investigaciones de Rochon, descubrió ese máximum fuera de las zonas coloreadas y señaló así la presencia de los rayos infrarrojos.

En 1804, Rumford demostró por un experimento clásico que el calor radiante se propaga en el vacío, como ya lo había previsto Scheele.

Leslie, quien rehusaba admitir los rayos infrarrojos de Herschel, extendió la ley de Lambert al calor radiante y, en sus interesantes experimentos, empleaba como cuerpo emisor una caja metálica llena de líquido a temperatura determinada, es el "cubo de Leslie" (1804).

Herschel, Rumford y Leslie inauguraron pues, en el siglo XIX, los estudios de la energía radiante en que se destacaron de Saussure y Pictet, Seebeck, Nobile, Bérard, de la Roche, Dulong y Petit, Knoblauch, Tyndall, Masson, de la Provostaye, Desains y sobre todo Melloni.

De 1830 a 1850, Melloni, "El Newton del calor", estableció las leyes fundamentales sobre el calor radiante, los poderes reflector, absorbente, emisivo y diatérmico. Demostró que el calor radiante sigue las mismas leyes de reflexión, de refracción, de polarización y de interferencias que la luz. De allí, dedujo que todas las formas de la energía radiante están regidas por las mismas leyes y creyó poder deducir que el calor radiante está compuesto, como la luz, por

varios "colores" o "termocromos". Los trabajos de Jamin y de Masson parecieron confirmar esa teoría de Melloni.

En el descubrimiento de la polarización del calor debe notarse que Melloni fué precedido por Forbes, que lo realizó en 1845. Forbes descubrió también la interferencia de los rayos de calor polarizados y Knoblauch, Tyndall, Fizeau y Foucault hicieron numerosas investigaciones al respecto.

La difracción de los rayos de calor fué descubierta por Seebeck (1849).

En 1859-60, Kirchhoff estableció que "para rayos de misma longitud de ondulación, y para una misma temperatura, la relación entre el poder absorbente y el poder emisivo es la misma para todos los cuerpos y que esta constante es igual al poder emisivo de un cuerpo absolutamente negro". En este estudio, Kirchhoff había sido precedido por Prévost (1792), Ritchie (1833) y Melloni (1835). Pero todos los casos de radiación no obedecen a esa ley; y los que le obedecen fueron llamados de "radiación térmica" por Helmholtz (1890) mientras que los que no le obedecen fueron llamados de "luminiscencia" por Wiedemann (1886). En esta cuestión, los continuadores de Kirchhoff fueron Wien (1895) y Stefan. Este último estableció la conocida "Ley de Stefan" acerca de la proporcionalidad entre la energía calorífica de un radiador integral y la cuarta potencia de su temperatura absoluta, ley que fué muy discutida hasta que Planck la estableciera teóricamente en 1910. Boltzmann, basándose en la presión de las radiaciones, dedujo matemáticamente la ley de Stefan de la teoría electromagnética de la luz y del segundo principio de la termodinámica.

Los principales continuadores de Melloni en el estudio general del calor radiante son Knoblauch, Tyndall, Magnus, Wild, Forbes, de la Provostaye y Desains, Ritchie, Draper, Angstrom.

6. *Presión de la luz* (véase Fresnel). — Keplero, Longomontano, Euler y de Mairan (1754) ya suponían la existencia de una presión ejercida por la luz, presión que se ha-

cía lógica en la teoría de las emisiones o en la teoría de la presión.

Pero lo que nos interesa aquí son los estudios sobre la presión de la luz de acuerdo con la teoría de las ondulaciones. Fresnel se ocupó teóricamente de esa cuestión, en 1825, sin llegar a ninguna conclusión clara.

Faye (y no Dufay como dicen algunos autores), Bartoli (1874), Crookes (1875), Maxwell, Boltzmann, Zöllner la estudiaron teóricamente, pero Lebedeff hizo el experimento decisivo en 1899.

Arrhenius (1900), Poynting (1904) también se destacaron en este estudio.

7. *Fosforescencia y fluorescencia* (véase J. Herschel y Stokes). — La observación de la fosforescencia en algunos animales, y cuerpos orgánicos en descomposición fué hecha ya por los antiguos y entre ellos por Aristóteles; pero interesó particularmente a los sabios del siglo XVII, quienes la ampliaron a la materia inorgánica y le dieron el nombre de "fosforescencia" por relacionar este fenómeno con el fósforo, descubierto en el mismo siglo. Fué La Galla quien, en 1612, descubrió la fosforescencia en el mineral "lapis bononiensis".

En 1676, Picard atribuyó a la fosforescencia el brillo del mercurio cuando se agita el barómetro, pero Hawksbee no admitió esta explicación. En 1675, Baldwin preparó un fósforo artificial; hacia la misma época Brandt encontró fósforo en la orina y Boyle y Kunkel prepararon el fósforo en cantidades suficientes para hacerlo entrar en el mercado.

En 1698, Marsigli hizo el análisis de la piedra de Bolonia. Du Fay, de 1730 a 1736, descubrió la fosforescencia en muchos minerales y piedras preciosas (mármol, piedra de cal, diamante, esmeralda, etc.). Se observó la formación de la fosforescencia en los minerales por la chispa eléctrica y J. Seebeck explicó que este efecto se debía no a la descarga en sí sino a la luz que produce. Grotthus (1811), Riess (1845) y Draper (1851) hicieron numerosas investigaciones sobre la fosforescencia.

Edmundo Becquerel estudió la fosforescencia de 1860 a 1868 y estableció la influencia de la intensidad y del color de las radiaciones incidentes, la ley de emisión de la luz por el cuerpo fosforescente en función del tiempo; descubrió las desigualdades de las velocidades de emisión de diversos colores; determinó la cantidad total de energía luminosa acumulada por la substancia fosforescente; demostró la menor refrangibilidad de la luz de fosforescencia que de la luz que la originó; demostró que la fosforescencia de un sólido es de poca duración, y construyó el "fosforoscopio" para estas investigaciones. Becquerel llegó a la conclusión de la identidad entre la fluorescencia y la fosforescencia.

Hittorf (1874) estudió la fosforescencia en los gases.

La fluorescencia fué descubierta por Monardes en 1550; en 1671, Kircher describió la tintura de llapazalli, blanca por transparencia y azul por reflexión. Boyle comparó el fenómeno al de las hojas finas de oro y Wunch lo estudió en otras soluciones.

La fluorescencia observada de nuevo por Hauy y estudiada por primera vez por J. Herschel (1845), quien le dió el nombre de "difusión epipólica" por creer que sólo existe en la superficie de los cuerpos. Brewster demostró que toma lugar en todo el cuerpo y la llamó por esto, y en oposición a Herschel, "difusión interior".

Pero el estudio principal de la fluorescencia fué hecho por Stokes desde 1851.

Stokes observó, como sus predecesores, la coloración de la fluorescencia, su mayor localización superficial, la influencia de la naturaleza de la fuente luminosa, y se detuvo en el hecho de que la luz solar, que ya ha provocado fluorescencia, pierde esta facultad. De esto dedujo la conocida "ley de Stokes": "Las radiaciones de una sustancia fluorescente tienen longitudes de onda mayores o refrangibilidades menores que las de los rayos excitadores". Buscó la explicación de este cambio del período de ondulación por las sustancias fluorescentes y emitió varias hipótesis.

La ley de Stokes no es general como se creyó al principio: en 1871, Lommel creyó observar fluorescencias que

no obedecen a esta ley y de allí nacieron numerosas discusiones que terminaron por dar la razón a Lommel. Stokes buscó muchas aplicaciones del estudio de la fluorescencia, como el estudio de la dirección de la luz polarizada, el espectro ultravioleta, etc. Observó que la intensidad de la fluorescencia es la misma en todos los sentidos y es proporcional a la intensidad incidente; que la fluorescencia no cesa inmediatamente con la luz incidente; midió el tiempo que demora en apagarse y la consideró por esto como una fosforescencia de poca duración.

CAPITULO V

FOTOGRAFIA

---

1. *Fotografía.* (Véanse las biografías de Niepce, Daguerre, Talbot y Poitevin). — La historia de la fotografía podría encabezarse con el invento de la cámara obscura (véase *Instrumentos de óptica*) en que se destacan los nombres de Bacon, de Vinci y de Porta. Luego debería buscarse el origen de la fotoquímica en el cual figura Scheele, quien, en 1781, estudió la acción de la luz sobre el nitrato de plata. Como precursores directos de la fotografía debería citarse a Charles, que colocaba un papel cubierto de cloruro de plata en el fondo de la cámara obscura y obtenía siluetas: Wedgwood, Watt, Davy, etc., quienes también se ocuparon de la fijación de las imágenes. Podría citarse también a Senefelder, el inventor de la litografía, pues fué a causa de este invento que Niepce inició, en 1816, las investigaciones que inauguraron el período de realización de la historia de la fotografía.

Niepce imaginó reemplazar la piedra litográfica por una lámina de estaño y luego pretendió fijar las imágenes en estas láminas por la acción química de la luz. De 1816 a 1829, hizo múltiples ensayos y su método definitivo con-

sistió en cubrir la lámina con betún de Judea, exponerla a la imagen de la cámara obscura, bañarla en esencia de alucema, que vuelve insoluble el betún sometido a la luz, y, en fin, atacar la lámina con un ácido: es la heliografía y el origen de la fotografía.

En 1839, Daguerre se asoció con Niepce, pero cada uno siguió investigando separadamente, comunicándose sus resultados. En 1831, Daguerre observó que la imagen obtenida en una lámina de plata iodada se refuerza por la acción del vapor de petróleo: es el primer "revelador". En 1839, Daguerre hizo conocer su procedimiento definitivo: Una lámina de cobre cubierta con ioduro de plata se expone a la imagen de la cámara, se revela con vapores de mercurio y se fija con hiposulfito de soda. Es la "daguerreotipía", la fotografía de nuestros abuelos, que ofrecía sobre el procedimiento de Niepce la ventaja de una impresión relativamente rápida (20 minutos, en lugar de 10 horas).

Muchos perfeccionamientos siguieron: Chevalier puso lentes al objetivo; Claudet (1841) aumentó la sensibilidad de la placa y redujo la exposición a ½ segundo; Fizeau perfeccionó el baño fijador agregando cloruro de oro al hiposulfito de soda, etc.

En 1840, Talbot empleó el ácido gálico como revelador de papeles con ioduro de plata y luego fotografiaba de nuevo este primer negativo para obtener todos los positivos que se desearan. En 1848, Niepce de Saint Victor (sobrino de Nicéforo Niepce) reemplazó el papel del negativo por una placa de vidrio. En 1851, Legray y Archer imaginaron emulsiones a base de colodión. En 1855, Poitevin inventó los positivos al carbón y la fotolitografía. Monckhoven preparó emulsiones muy sensibles que permitieron la fotografía instantánea y la cinematografía.

Desde esa época, el estudio de la fotografía ya no pertenece a la física, sino a la tecnología.

2. *Fotografía de los colores.* (Véase Lippmann). — Como precursores de este invento deben citarse a Seebeck (1810), Herschel (1841), Ed. Becquerel (1848), Niepce de Saint Victor (1851) y Poitevin (1865), pero los proce-

dimientos de esos sabios, basados todos en la impresión de los colores por las sales de plata, tenían como común defecto el de no poderse fijar las imágenes.

En 1869, C. Cros y Ducos de Hauron, independientemente uno de otro, imaginaron sacar tres negativos, uno por cada color fundamental, y luego colorear esas placas y superponerlas. Esta idea, que es la base de la "tricromía", no tuvo aceptación y sólo fué recordada, un cuarto de siglo más tarde, por los tipógrafos norteamericanos.

En 1890, Lippmann dió la primera solución de resultados indiscutibles, por un método absolutamente físico, basado en el estudio teórico de las interferencias de la luz. Este resultado causó verdadero entusiasmo; el método adolece sin embargo de graves defectos.

En 1895, Otto Wiener estudió los métodos existentes y demostró que los métodos de Becquerel y de Lippmann tienen como error inicial el no dar imágenes con colores propios, sino de producir la impresión de los colores por ondas estacionarias o interferencias respectivamente. Los métodos de Seebeck y de Poitevin, al contrario, tienen coloración propia.

En 1904, los hermanos Lumiere imaginaron su método de fécula tricromática, que obtuvo su mayor éxito cuando esos sabios presentaron placas autocromáticas preparadas industrialmente.

Pero el método Lumiere tiene el defecto de no obtener más que diapositivos o sea placas visibles por transparencia.

El problema de la fotografía de los colores no estará definitivamente resuelto sino cuando se obtengan imágenes visibles por reflexión, y Otto Wiener ha expuesto con mucha claridad cuál es el problema que debe resolverse para lograr este resultado.

3. *Cinematógrafo.* (Véase Edison). — En 1833, el belga Plateau inventó el "zootropio", con el cual la superposición sucesiva en la retina de las imágenes de movimientos progresivos producía la impresión del movimiento. En 1861,

el "Kinematoscopio" de Sellers, de Filadelfia, tenía el mismo principio, pero proyectaba las imágenes.

En los dos aparatos anteriores las imágenes eran dibujadas, y cuando se quiso adaptar la fotografía a la cinematografía el problema se duplicó, pues debía estudiarse la máquina de sacar vistas y el cinematógrafo para proyectarlas.

En la historia del primero de esos aparatos debe recordarse que Faye (1849) fijaba fotográficamente las fases sucesivas de los astros; que Du Mont (1861) propuso el empleo de las fotografías en el zootropio; que Ducos de Hauron (1863) previó la posibilidad del cinematógrafo moderno; que Heyl (1870) proyectaba fotografías de movimientos sucesivos; que Janssen (1874) hizo un revólver fotográfico para uso astronómico; que Muybridge (1878) hizo fotografías de los movimientos del galope de un caballo; y que Marey, factor principal del progreso del cinematógrafo, inventó en 1882 un "fusil" fotográfico bastante rápido.

Pero hasta aquí se trabajaba con placas. Legray (1851) propuso reemplazar el vidrio por papel encerado; Corbin (1857) inventó una película al colodión; Ferrier (1879), Eastmann (1885), Goowing (1887), perfeccionaron la película, y, otra vez, Marey (1889) aplicó un film largo a su "fusil" e imaginó un dispositivo para detenerlo automáticamente delante del obturador el tiempo necesario; es el "cronofotógrafo de Marey". Demeney, preparador de Marey, perfeccionó este aparato permitiendo la obtención de imágenes consecutivas en la película (1889).

En 1891, Edison inventó el "Kinetógrafo" para sacar vistas y el "Kinetoscopio" para proyectarlas; y fueron éstos los primeros aparatos de aplicación práctica, pero fueron las casas Gaumont y Lumiere (1895) de París que inauguraron el cinematógrafo como espectáculo público.

CAPITULO VI

INTERFERENCIA. — DIFRACCION DOBLE REFRACCION Y POLARIZACION

1. *Anillos coloreados.* — Los anillos coloreados que deben haber sido observados mucho antes, ya interesaron a Boyle (1663), que los estudió en las pompas de jabón, y a Hooke (1665), que las observaba en las manchas de la mica o en la superficie de contacto de dos prismas.

Newton (1673) estudió ampliamente los anillos coloreados; estableció las relaciones entre los anillos y quiso explicar este fenómeno por una nueva hipótesis, complementaria de la teoría de las emisiones, la hipótesis o teoría de los "accesos" ("fits").

Young y más tarde Fresnel comprendieron los anillos coloreados en su estudio de las interferencias.

2. *Interferencias.* — El fenómeno de las interferencias fué conocido desde el siglo XVII por observaciones empíricas y especialmente en los anillos coloreados estudiados por Boyle, Hooke y Newton y en el estudio de la difracción por Grimaldi (1665) y por Maraldi (1723). Pero fué Young quien descubrió verdaderamente las interferencias luminosas, en 1802, y las explicó, a raíz de su estudio de la difracción, como una consecuencia natural de la propagación de la luz por ondulaciones. Realizó su célebre experimento de las pantallas con luz monocromática (rayas luminosas y oscuras) y con luz solar (rayas coloreadas), y la distancia entre las rayas le permitió determinar la longitud de onda de la luz.

En 1815, Fresnel inventó sus conocidos espejos con los cuales no era necesaria la difracción como en las pantallas de Young.

Estos estudios de las interferencias han sido, con el estudio de la difracción, la base principal de la discusión entre Fresnel y los defensores de las emisiones. Sólo las ondula-

ciones podían hacer comprender que la superposición de dos haces de luz puede producir la oscuridad, como ya lo había expresado Grimaldi.

Jamin estudió teóricamente las interferencias y dejó dos interesantes aparatos para producirlas.

Foucault y Fizeau sometieron las interferencias al análisis espectral como también lo hicieron Brewster, Stokes, Airy, Michelson y Morley, etc.

3. *Difracción.* — La difracción fué observada por Vinci, quien no le dió importancia.

Grimaldi (1665) la volvió a observar, le dió su nombre, realizó numerosos experimentos que le permitieron ver el ensanchamiento de la sombra y la presencia en ella de franjas coloreadas y expresó claramente que "luz más luz, igual obscuridad"; pero no emitió opinión acerca de la explicación teórica del fenómeno.

Newton negó que existían rayas coloreadas en el interior de la sombra, estudió las franjas exteriores y creyó poder explicar la difracción por fuerzas de atracción entre el cuerpo y las partículas luminosas.

Young dió una teoría de la difracción en que consideraba que la luz se refleja en el borde del objeto y estudió así las interferencias entre ese rayo reflejado y el rayo directo.

Fresnel (1851) dió una teoría distinta, basada en el principio de Huyghens ampliado por él, en que combinaba ondas elementales en lugar de simples rayos geométricos.

4. *Doble refracción.* — En 1669, Erasmo Bartholin estudió el espato de Islandia y descubrió la doble refracción, sin explicarla. Huyghens, en 1690, descubrió la ley de la doble refracción, que explicó por su teoría de las ondulaciones longitudinales y que observó también en el cristal de roca. Du Fay (1739) encontró la doble refracción en otros cristales.

Newton estudió la doble refracción e hizo admitir una teoría basada en la admisión de polos en las partículas luminosas.

Wollaston (1800) volvió a estudiar la doble refracción según Huyghens e imaginó entonces el método de determinación de la refracción de los cuerpos opacos, que fué ampliada por Malus. Pero este último sabio empleó este mismo método para confirmar la afirmación de Laplace de que las fórmulas de reflexión no podían ser las mismas para los cuerpos opacos y los cuerpos transparentes, como lo suponía Wollaston.

En 1808, en su "Memoria sobre los movimientos de la luz en los cuerpos diáfanos", Laplace estudió la doble refracción y logró obtener los mismos resultados que Huyghens, basándose en la teoría newtoniana y con "fuerzas atractivas y repulsivas" sólo sensibles a distancias muy pequeñas, como Newton lo había hecho para la refracción simple.

Fresnel hizo entrar la doble refracción en su teoría general de la luz, pero demostró (1821) que la ley de Huyghens, según la cual uno de los rayos refractados siempre sigue a la ley de Descartes, no es general; demostró asimismo que son muchos los cristales birrefringentes y provocó la doble refracción en un prisma de vidrio por simple compresión.

Brewster enunció la ley siguiente: "En los cristales uniáxicos, el eje óptico coincide con el eje de cristalización" y demostró (1815) que una lámina común de cristal comprimida se vuelve birrefringente como el prisma de Fresnel.

En 1828, Nicol inventó el conocido prisma de su nombre, que permite aislar uno de los rayos birrefringentes, y Foucault indicó que, en ese mismo prisma, no era indispensable el empleo del bálsamo de Canadá; es el "prisma de Foucault".

5. *Refracción cónica.* — La refracción cónica fué prevista teóricamente por el matemático Hamilton, en 1823, y comprobada por los experimentos de Lloyd.

6. *Polarización.* (Véase Malus, Arago, Biot, Brewster). — Huyghens (1690) descubrió la polarización por

doble refracción dejando a los sabios del futuro la tarea de explicar este curioso fenómeno.

Pasó más de un siglo, y Malus descubrió la polarización por reflexión (1808) por una casualidad.

El nombre de "polarización" encuentra su origen en la hipótesis de Newton, que consideraba las partículas luminosas como pequeños imanes con sus polos respectivos.

Huyghens ya había establecido que si se hace pasar un haz de luz por dos cristales birrefringentes, que se produzcan cuatro o dos imágenes en el segundo cristal, como consecuencia de la polarización en el primero, la intensidad total de esas imágenes siempre será igual a la intensidad del rayo incidente. Malus estableció lo mismo en su conocida "ley de Malus" (1809), a la que llegó tomando en cuenta algunos experimentos de Arago.

Malus creyó primero que los metales no producían la polarización por reflexión; pero, en un estudio especial de la reflexión metálica, comprobó que los metales son simplemente menos polarizantes que las otras sustancias.

Esta interesante cuestión de la reflexión metálica (y en general sobre las sustancias que absorben mucho las radiaciones y presentan la dispersión anómala) provoca cierto desacuerdo con las leyes de Fresnel y fué estudiada por muchos sabios, entre los cuales citaremos a Babinet, Quincke, Wiedemann, Airy, Jamin, y a Mac Cullagh (1837) y Cauchy (1836-48), que buscaron aplicar la teoría de Fresnel a la reflexión metálica.

Malus, Brewster y Biot descubrieron casi simultáneamente (1809-1810) la polarización por simple refracción y observaron que esa polarización se hace en un plano perpendicular al plano de incidencia o a la polarización por reflexión.

En 1809, Arago descubrió que la luz atmosférica es parcialmente polarizada y que esa polarización, casi insensible cerca del Sol, aumenta a medida que se aleja de él, hasta llegar a un máximum, para volver a disminuir y llegar a la desaparición completa en el "punto neutro de Arago".

Babinet descubrió otro punto neutro, en 1840, y Brewster encontró un tercer "punto neutro".

En el mismo año de 1809, Cordier descubrió el pleocroismo en la "cordierita" y este fenómeno fué estudiado por Arago, Biot y Brewster.

En 1811, Arago descubrió la polarización cromática y la polarización rotatoria, que fueron estudiadas por Herschel y Biot (1813)) y fueron explicadas por las ondulaciones por Young y por Fresnel.

El estudio de la polarización rotatoria, por sus grandes aplicaciones de polarimetría en diversas ciencias, interesó a muchísimos sabios físicos, químicos y naturalistas.

Varios sabios, y entre ellos Pasteur y van't Hoff, emitieron hipótesis acerca del estado atómico de las soluciones, mientras otros, como Cauchy, Lommel, Mac Cullagh, Sarrau y Voigt, ampliaban la teoría de su mecanismo.

Brewster volvió a descubrir la polarización cromática en 1813 y la estudió en luz divergente y convergente mientras que Arago la estudiaba en luz paralela. Para explicar estos fenómenos por la teoría de las emisiones, Biot imaginó la "polarización movible", hipótesis que no conserva más que su valor histórico. No puede decirse lo mismo de su descubrimiento de las leyes de la polarización rotatoria que son la base de la polarimetría.

En 1813, Brewster demostró que las ágatas y las turmalinas se comportan exactamente como las pilas de láminas cuya polarización había estudiado Malus.

En 1815, Brewster enunció su célebre ley: "La tangente del ángulo de polarización completa es igual al índice de refracción de la sustancia reflectora" o sea que: "Bajo el ángulo de polarización completa el rayo reflejado es perpendicular al rayo refractado".

Bajo esta forma la ley de Brewster coincide con la regla de Malus de 1809, que no es a su vez sino un caso particular del teorema de Arago, que éste estableció en 1815.

En 1816, Fresnel y Arago estudiaron la reflexión, la refracción y la interferencia de los rayos polarizados y es de esas leyes de las interferencias de la luz polarizada que

Fresnel dedujo la necesidad de considerar las ondas como transversales al rayo. Sabemos sin embargo que F. Neumann creó una teoría de ondas transversales distinta de la de Fresnel y tan admisible como ella, aunque ofrezca más dificultades en la explicación de los fenómenos ópticos. Estas leyes de la interferencia de los rayos polarizados han sido estudiadas de nuevo por Mach (1875-1904).

En 1824, Arago descubrió la polarización por emisión, que fué estudiada más tarde por de la Provostaye, Desains, Kirchhoff, Magnus, Violle, en la luz y en el calor radiante. Arago descubrió también la polarización por difracción, que fué estudiada ampliamente por Stokes (1849) y más tarde por muchos físicos, y entre ellos, Fizeau, Lommel y Poincaré.

Fresnel aplicó sus cálculos a la reflexión total y descubrió así la polarización elíptica. En 1833, Airy observó que en la reflexión de la luz de muchas sustancias hay polarización elíptica y vió en ello una contradicción con los cálculos de Fresnel; Jamin, en 1840, demostró que la observación de Airy es general y se debe a un retraso de la luz reflejada con relación a la luz polarizada. Cauchy puso de acuerdo las observaciones de Airy y de Jamin, con las fórmulas de Fresnel. La polarización elíptica fué estudiada luego por muchos físicos y entre ellos Kundt, Quincke, Mach, Wiedemann, Voigt.

En 1852, de la Provostaye y Desains estudiaron la polarización por difusión exterior en una superficie mate y observaron la polarización por emisión de los rayos infrarrojos.

Tyndall fué el primero en estudiar la polarización por difusión interior.

LIBRO V

ELECTRICIDAD

CAPITULO I

MAGNETISMO

1. *Imanes.* — El origen de la palabra "magnetismo" y el descubrimiento de la piedra imán deben buscarse en el pastor Magnes, según Plinio, y en la ciudad de Magnesia según otros. Tales (600 antes de J. C.) conocía la atracción magnética y la atribuía, como Platón y Diógenes, a una fuerza consciente. Platón conocía la inducción magnética pues afirmó que la piedra imán comunica su poder al hierro. Lucrecio (95-52 antes de J. C.) fué tal vez el primer antiguo que conociera la repulsión magnética, aunque Plutarco aseguraba que ya la conocían los egipcios. Lucrecio describió además una cadena magnética; sabía que la acción magnética se ejerce a través de las sustancias, y atribuía el magnetismo a torbellinos internos de la materia, como lo hicieron Epicuro y más tarde Plutarco. Plutarco conocía la polaridad del imán.

En el siglo XIII, Peregrino hizo interesantes observaciones acerca de la piedra imán. Colocó trozos de hierro en una piedra imán de forma cónica y observó que los trozos se colocaban de manera semejante a los meridianos de la Tierra; ratificó la observación de Platón de la inducción magnética; mostró que al quebrarse un imán cada trozo

es un imán completo; observó la repulsión de polos de mismo nombre, y mencionó el magnetismo terrestre.

Colón observó la declinación en 1492 y Hartmann la inclinación en 1544.

La "Magia" de Porta (1589) nos informa acerca de los conocimientos de magnetismo en el siglo XVI, que consistieron en: principales propiedades de los imanes; métodos de imanación; influencia magnética a través de todos los cuerpos menos el hierro; variación de la declinación según la posición terrestre y variaciones en un mismo lugar.

Gilbert (1540-1603) hizo hacer un gran progreso al estudio del magnetismo. Observó que el magnetismo de un imán disminuye cuando se calienta y desaparece cuando llega al blanco; descubrió, como Peregrino, cuya obra no cita, que cada trozo de imán es un imán completo, y estudió detenidamente la inducción magnética y la repulsión de los polos.

Boyle sabía que el vacío no hace variar la imanación, y Norman que el magnetismo no tiene peso.

Canton (1750) imaginó un método de imanación del acero por el magnetismo terrestre y observó que el imán, que al calentarse perdió parte de su magnetismo, no lo recupera totalmente al enfriarse de nuevo.

Newton creía que la acción magnética es inversamente proporcional al cubo de la distancia; pero las leyes de las atracciones eléctricas y magnéticas fueron establecidas por Coulomb (1735) y expresadas por la fórmula:

$$f = \frac{m.m'}{r^2}$$

El magnetismo fué atribuído a dos flúidos similares a los dos flúidos eléctricos. Esta teoría fué reemplazada por la célebre teoría del magnetismo de Ampere (1820), que sirve de base a las teorías modernas de Voigt (1902), Thomson (1903), Langevin (1905) y Weiss (1907).

En 1826, Poisson defendió la teoría del magnetismo de los dos flúidos y afirmó que los cuerpos imantados por in-

fluencia no pierden de inmediato la imanación al retirarse el inductor. De sus ecuaciones del magnetismo deducía en fin, el "magnetismo de rotación", que Arago descubrió en 1824, y que provocó el descubrimiento de la inducción.

Weber elaboró también una teoría del magnetismo en que suponía la existencia de corrientes inducidas en lugar de las corrientes moleculares de Ampère.

Jamin se ocupó de la comprobación de la teoría de Ampère y demostró que no está en contradicción con el hecho de que los polos de los imanes no se encuentran en sus mismos extremos, como en los solenoides. Jamin perfeccionó los imanes de láminas y construyó los conocidos "imanes Jamin".

2. *Brújula.* — No se conoce ni el inventor, ni la fecha de invento de la brújula.

Se reclaman derechos para el amalfecino Flavio Gioja, en 1302 a 1303, pero éste sólo debe haber sido un perfeccionador de la brújula y problablemente el primero que haya colocado la aguja en un perno, en vez de hacerla flotar sobre una paja o sobre un corcho.

Otros reclaman derechos para los daneses, en el siglo XI, pero sus pruebas no son suficientes. Lo que puede afirmarse es que Guyot de Provins ya hablaba de la brújula en un poema en 1190; que, en 1215, se menciona la brújula en una "Historia Oriental" de Jacobs de Vitry; y que Abul Feda dijo que el uso de la brújula era común en Oriente a fines del siglo XII.

Los árabes no parecen haber conocido la brújula mucho antes que los europeos, pues, en 1007, Ibn Junis la ignoraba.

Los chinos han precedido indiscutiblemente a los árabes y a los europeos, y tal vez conocieron la brújula en el siglo II de nuestra era.

Puede considerarse problable pues, que los chinos conocieran la brújula desde muchos siglos atrás y que ésta fuera introducida en el siglo XII en Europa, tal vez por intermedio de los árabes.

Uno de los más interesantes problemas científicos modernos acerca de la brújula es el estudio de la compensación de la influencia que ejercen sobre ella las partes de hierro de los barcos. Poisson, Barlow, Airy, Smith, Flinders y Kelvin se han destacado en este estudio.

3. *Magnetismo terrestre.* — Colón creía que la aguja magnética es atraída por un punto del espacio; Norman (1580) suponía la existencia de montañas de hierro en el norte del globo y Gilbert, verdadero fundador del magnetismo terrestre, consideró a nuestro globo como un vasto imán.

Después de la importante obra de Gilbert, fué Halley quien hizo hacer los primeros progresos al estudio del magnetismo terrestre; emitió la curiosa teoría de los cuatro polos magnéticos e indicó la relación entre el magnetismo y las auroras boreales. Mairan (1733) consideraba la aurora boreal como una mezcla de luz zodiacal con la atmósfera, mientras Wolf sostenía que es causada por la inflamación de vapores nitrosos y sulfurosos; pero Mairan hizo además, la observación de que la aurora boreal se encuentra en la continuación de la aguja de inclinación.

B. de Saussure afirmaba que el magnetismo terrestre disminuye con la altura y Saccharoff creyó poder confirmar esta afirmación por observaciones hechas en las montañas, mientras que Biot, Robertson y Gay-Lussac no le encontraron confirmación en sus célebres ascenciones aeronáuticas.

Poisson, en 1828, imaginó el método de determinación de la intensidad del magnetismo terrestre que Gauss amplió en 1832. Ambos métodos son perfeccionamientos de las determinaciones que se hacían anteriormente por la simple observación del número de oscilaciones de la aguja magnética. Humboldt observó así que una aguja que tenía 245 oscilaciones en París sólo tenía 211 en el Perú.

4. *Declinación e inclinación.* — Colón observó la declinación en 1492 y Hartmann descubrió la inclinación en 1544.

Norman, en 1576, construyó una brújula de inclinaciones; Gilbert, con su globo terrestre artificial, observó que la inclinación aumenta al ir del Ecuador al Polo, como lo comprobó Hudson (1608), y atribuyó la declinación, que no obtenía con su globo terrestre artificial, a irregularidades de la forma de la tierra y los océanos. Debe observarse que Gilbert llamaba "variación" a la declinación y "declinación" a la inclinación.

Porta (1589) nos muestra que en el siglo XVI se conocían las variaciones de la declinación según el lugar y las variaciones en un mismo lugar.

Halley (1700) trazó los primeros mapas de declinaciones.

Graham (1722) estableció las variaciones horarias y diarias de la declinación y no encontró regularidad en las variaciones de la inclinación. Celsio estudió la misma cuestión, después de Graham y Halley.

En 1845, el padre Secchi demostró que las variaciones no son fijas y que durante una misma noche observó un mínimum y máximum.

Faraday creyó encontrar la causa de las variaciones en el magnetismo de los gases y muchos sabios, entre ellos Humboldt, admitieron esa teoría, que más tarde fué reemplazada por la explicación de las variaciones por las manchas solares.

5. *Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo.* — Brugmanns, en 1778, observó el diamagnetismo del bismuto y A. C. Becquerel, en 1827, lo observó en el antimonio. Le Baillif, Saigey y Seebeck lo descubrieron en otros cuerpos pero Faraday, en 1845, ignorando esos trabajos, volvió a descubrir el diamagnetismo y dió nuevo impulso a su estudio.

Bancalari, Faraday (1846-1850) y Matteucci (1854), estudiaron el magnetismo de las llamas y de los gases.

Weber (1852) inventó el "diamagnetómetro' y con él comprobó que, en un campo magnético, un cuerpo diamag-

nético tiene una polaridad inversa a la de un cuerpo paramagnético. Tyndall confirmó las observaciones de Weber.

Ed. Becquerel (1845-1849) estableció un principio análogo al de Arquímedes: "Un cuerpo sumergido pierde en para o diamagnetismo, el para o diamagnetismo del volumen del flúido que desaloja". Todos los cuerpos son magnéticos, aun en el vacío, y todos los cuerpos pueden cambiar de magnetismo según el medio en que se encuentren. Becquerel observó, como Faraday, que los gases ejercen poca influncia, con excepción del oxígeno que es netamente magnético.

Pedro Curie hizo un amplio estudio del paramagnetismo, del diamagnetismo y del ferromagnetismo y estableció sus leyes. Demostró así que la susceptibilidad magnética es independiente del campo, pero inversamente proporcional a la temperatura absoluta en los paramagnéticos, y crece con el campo hasta un límite variable para disminuir después, y también crece con la temperatura, anulándose casi en la temperatura crítica, en los cuerpos ferromagnéticos. Las leyes de Curie han sido estudiadas por Larmor (1897), Voigt (1902), J. J. Thomson (1903), Langevin (1905), Weiss (1908), Gans (1910) y son además la base de la teoría del magnetón de Langevin y Weiss.

6. *Polarización rotatoria. Fenómeno Zeeman, etc.* — Después de haber buscado en vano una modificación de la polarización de la luz haciéndola pasar por un electrólito, Faraday realizó, en 1845, la rotación del plano de polarización de la luz por el campo magnético de un electroimán. Faraday no logró descubrir la influencia del campo magnético sobre el espectro de una llama (1862); esto lo realizó Zeeman (1896-1897) quien confirmó así las teorías de Lorentz y de Maxwell. Más aún, fué Lorentz quien indicó a Zeeman que, si su teoría electrónica fuera exacta, debía existir una influencia del campo magnético sobre el espectro por un cambio en el período de vibración de los electrones, y Zeeman comprobó experimentalmente esta afirmación de Lorentz.

Eduardo Becquerel imaginó un dispositivo que reforzó considerablemente la influencia del electroimán sobre el plano de polarización (1846).

Airy, en 1846, trató de dar una explicación analítica de la rotación; Neumann en 1858 buscó la explicación en las corrientes moleculares. Verdet (1863) estableció la proporción indirecta entre la rotación y el cuadrado de la longitud de la onda y Bertin y Maxwell desarrollaron este descubrimiento de Verdet.

Kerr descubrió en 1875 que los dieléctricos se vuelven birrefringentes en el campo eléctrico; y, en 1876, descubrió el "efecto de Kerr".

Enrique Becquerel (1877) estudió la polarización rotatoria y descubrió que el mismo fenómeno existe en la atmósfera por influencia del magnetismo terrestre. Righi (1878) realizó un estudio de la diferencia de velocidad de las dos vibraciones circulares en que se descomponen el rayo polarizado en la polarización rotatoria magnética.

CAPITULO II

ELECTROESTATICA

---

1. *Fenómenos eléctricos y teorías.* (Véase Dufay, Gray, Franklin). — Seiscientos años antes de J. C., Tales conocía la atracción eléctrica del ámbar, que los fenicios traían de las costas del Báltico y que los antiguos llamaban "lágrimas de las hijas del Sol". Teofrasto descubrió la misma propiedad en la "piedra de lince". En general, los antiguos atribuyeron la propiedad del ámbar a una fuerza oculta; Platón la atribuía a una "aspiración" y Plutarco creía que el frotamiento destapa los poros del ámbar, provocando así una circulación del aire.

En el siglo XVI, Gilbert, cuya influencia en electricidad fué tan grande como en magnetismo, observó que todas las

piedras preciosas y el vidrio, el azufre, la resina, la fluorina, la sal gema son también cuerpos eléctricos, pero que los metales no lo son; diferenció la electricidad del magnetismo y empleó la expresión "fuerza magnética"

Gassendi y Descartes (1644) se ocuparon de electricidad, pero emitieron hipótesis prematuras y sin fundamento experimental.

Guericke (1671) hizo hacer nuevos e importantes progresos al estudio de la electricidad, llegó a sacar fuertes chispas con su rudimentaria máquina de azufre utilizó su hilo de lino como conductor; observó la repulsión de cuerpos con una misma carga eléctrica; observó la descargas por las puntas y por las llamas; se adelantó en fin en la observación de numerosos fenómenos que fueron descritos, más tarde, con mayor detención, por otros experimentadores y que recién entonces fueron tomados en cuenta en el ambiente científico.

Boyle, en la misma época, extendió el empleo de la palabra "electricidad" y consideraba la electrización como un efluvio que envuelve los cuerpos.

El doctor Wall reprodujo, en 1698, el experimento de Guericke y comparó la chispa al rayo. Hawksbee, en 1709, hizo de la electricidad un capítulo aparte de la física; reprodujo todos los experimentos conocidos; atribuyó a la electricidad los fulgores observados en los barómetros de Picard (1675) y generalmente atribuídos a reacciones químicas o a la fosforescencia. (Véase).

En 1729, Gray descubrió la conducción eléctrica y clasificó los cuerpos en conductores y aisladores.

En 1733, Dufay publicó ocho célebres memorias sobre electricidad; observó que los malos conductores se electrizan por frotamiento; propuso la teoría de los dos flúidos, que fué admitida casi exclusivamente hasta 1870 y que sirve aún de base a las explicaciones de la física elemental. En 1747, Franklin dió su teoría de un solo flúido que es, hasta cierto punto, precursora de la teoría electrónica moderna; Nollet emitió también una teoría propia y atacó la teoría de Franklin.

El experimento de los "fantasmas eléctricos" conocido por el nombre de "figuras de Lichtenberg" (1777) contribuyó a afirmar la teoría de los dos flúidos, pues en él se ve que si se trazan rasgos en una lámina de resina con un cuerpo positivo y otro negativo y si se cubre esta lámina con una mezcla de minio y azufre, se observa que el azufre se reune en los rasgos del cuerpo positivo y el minio hace otro tanto en los del cuerpo negativo.

Canton demostró que las expresiones de "electricidad resinosa" y "electricidad vítrea" son inexactas, pues un mismo cuerpo puede dar por frotamiento una u otra electricidad, según su estado de pulimento o según la substancia con que se frota. Lichtenberg (1778) usó entonces las expresiones de "electricidad positiva" y "negativa".

Coulomb (1785) se mostró partidario de la teoría de las dos electricidades, que consideró como flúidos materiales cuyas moléculas se atraen o repelen según la ley de atracción eléctrica descubierta por él. Aepinus, Wilke y Coulomb negaban la existencia de un efluvio eléctrico alrededor de los cuerpos, como lo sostenían muchos físicos y entre ellos Canton; pero preferían atribuir la acción eléctrica a una "acción a distancia".

Poisson fué también partidario de la teoría de los dos flúidos y aplicaba a sus moléculas las leyes newtonianas. En la misma época, Bigeon defendía la teoría de Franklin y demostraba que las ecuaciones de Poisson eran aplicables tanto a una como a otra teoría.

La teoría de los dos flúidos fué admitida casi generalmente desde Dufay hasta 1870: es el primer período de la historia de las teorías eléctricas. El segundo período corresponde a la teoría de Maxwell y se extiende de 1870 a 1900.

En la teoría electromagnética de Maxwell (1867-73) está engarzada una teoría electrostática que puede independizarse totalmente del resto de la obra. Esta teoría atribuye la electrización electrostática a un estado especial del éter ambiente y explica las atracciones y repulsiones por tensiones y presiones del éter. Según ella, existen "tubos de tensión" que descansan sus extremos en la superficie de

los curpos conductores y que atraviesan los dieléctricos. Esta teoría es el desarrollo de las ideas de Faraday y significa la muerte del perjudicial concepto de la "acción a distancia", que fué a veces consagrado como principio científico después de Newton.

La teoría de Maxwell fué admitida hasta 1900, y en aquella época empezó el tercer período de la historia de las teorías de la electricidad, el período de la teoría de los electrones (véase: Electromagnetismo y teorías).

2. *Máquinas electrostáticas.* — a) *de frotamiento.* (Véase Canton). Hacia 1660, Guericke imaginó la primera máquina electrostática: un globo de azufre que se hace girar y sobre el cual se posa la mano. Observó con ella la chispa eléctrica, que los antiguos y hasta Gilbert desconocían.

Hawksbee (1709) reemplazó el azufre por una esfera de vidrio.

Gray y Dufay en sus célebres estudios no emplearon la máquina y prefirieron volver a los tubos de vidrio y las barras de goma laca; la máquina fué abandonada entonces durante un cuarto de siglo, pero los alemanes la hicieron resucitar.

Bose (1733) empleó un globo de vidrio con un conductor; Hausen (1742) construyó una máquina de Guericke con correa y polea, que tuvo mucho éxito, aunque no fuese muy original, y Winkler (1744) le agregó la almohadilla, a la que Nollet siguió prefiriendo el uso de la mano. El inglés Watson construyó una máquina de cuatro globos con almohadillas; su compatriota B. Wilson inventó, en 1746, el peine colector.

Hacia la mitad del siglo XVIII, el globo de vidrio fué reemplazado por un disco y se presentan como inventores de este tipo de máquina a Planta (1755), y Sigaud de Lafond, Ingenhousz en 1746 y Ramsden en 1768.

Waitz (1745) cubría la almohadilla con cera y aceite, pero Canton imaginó cubrir la almohadilla con una amal-

gama de mercurio y estaño y Van Marum (1777) la cubrió con oro musivo.

En 1785, Nairne construyó su conocida máquina de cilindro.

En 1840, Armstrong inventó su máquina electrostática de vapor, que no es sino una máquina de frotamiento, y cuya supuesta fuente de electricidad, la vaporización, había sido estudiada por Franklin, Nollet, Lavoisier y Laplace, Volta, Pouillet y Peltier, hasta que Riess estableciera que se trataba de un caso de frotamiento.

b) *De influencia.* — Entre las máquinas electrostáticas de influencia se recuerdan especialmente la de Toepler (1865), la de Holtz (1865) que lleva injustamente el nombre de Wimshurst, la de Schwedoff (1868) y el "replenisher" de Kelvin.

3. *Electróforo.* — El electróforo, la máquina eléctrica más sencilla, fué imaginada por Wilke, en 1762, y Volta le dió toda su importancia en 1775.

4. *Electroscopio.* (Véase Gray-Volta). — Gilbert conocía el principio del electroscopio, pero Gray (1730) fué el primero que lo utilizara racionalmente. Este aparato era todavía muy rudimentario, pues constaba sólo de un hilo que se colgaba a lo largo del cuerpo para saber si éste estaba electrizado. Dufay (1733) empleó el mismo aparato; Nollet (1747) usaba dos hilos y proyectaba su sombra en un arco graduado; Waitz (1745) colgó pequeñas pesas de los extremos de los hilos y trató de determinar la intensidad de la electricidad por el peso de esas cargas y por su desviación; Canton (1758) reemplazó las pesas por bolitas de corcho o de médula de saúco; Ellicot (1747) y Gralath preferían la balanza a este aparato. Henley, en 1772, inventó el electrómetro de cuadrante y Saxtorph le dió su forma corriente. Coulomb (1784) con su balanza de torsión, inventó también un electrómetro que fué perfeccionado por muchos físicos como Dellmann, Oersted, Peltier, Riess, etc.

En 1787, Bennet construyó un electrómetro de hojas de oro que es, como el que Volta inventó en la misma época, una reunión del electrómetro y del condensador.

Kelvin (1855) inventó el electrómetro de cuadrante, que fué perfeccionado y fué usado como electrómetro absoluto (1860).

4. *Condensadores.* (Véase Musschenbroek - Franklin). — En 1745, Von Kleist, y luego Musschenbroek, casi simultáneamente, inventaron el condensador al que Nollet dió el nombre de "botella de Leyden", nombre no completamente justo, pues su primer invento no tuvo lugar en Leyden sino en Kamin (Pomerania) donde residía Von Kleist.

Nollet y Lemonnier (1746) en Francia, Winkler y Gralath, en Alemania, Cavendish, Watson, Bevis y B. Wilson en Inglaterra perfeccionaron y estudiaron el nuevo aparato; pero su primera explicación racional fué dada por Franklin, quien observó que dentro y fuera de la botella las electricidades son distintas.

Entre las primeras observaciones, debe destacarse la de Gralath y de Winkler de la carga residual, que Faraday explicó, en el siglo siguiente, como una penetración de las electricidades en el interior del diélectrico y su vuelta a la superficie después de un cierto tiempo, tiempo que Kolhrausch (1854) determinó teóricamente. Otros físicos del siglo XIX consideraron la carga residual como una polarización del dieléctrico; otros en fin la compararon con la electricidad residual.

Cavendish (1770) ya había descubierto la influencia del dieléctrico en el condensador, pero este descubrimiento permaneció oculto en los manuscritos que Maxwell encontró y publicó un siglo más tarde, época en que Faraday ya había vuelto a descubrir la acción del diélectrico (1838) a consecuencia de su estudio de la inducción. Esta acción, o sea el poder inductor de los diélectricos fué estudiada también por Belli (simultáneamente con Faraday, en 1838), por Harris (1842), por Matteucci (1849), G. Siemens (1857), Maxwell (1871), Boltzmann (1872-4), etc.

Boltzmann estableció dos interesantes métodos para la determinación de K (poder inductor) con los cuales estudió también el poder inductor de los gases y de algunos cristales.

5. *Fenómeno de Kerr.* — Faraday, en 1838, trató de descubrir algún cambio electro-óptico en los diélectricos electrizados, pero no descubrió el fenómeno que Kerr observó en 1876, y que Quincke estudió poco después. (Véase polarización rotatoria).

6. *Ley de Coulomb y distribución de la electricidad.* (Véase Coulomb). — En 1785, Coulomb estableció las leyes de las acciones mutuas de los cuerpos electrizados, aplicables también a las acciones magnéticas, y que se expresan por la fórmula:

$$f = \frac{m.\ m'}{r^2}$$

Cavendish, en 1773, había llegado a resultados casi idénticos, pero sus manuscritos inéditos fueron ignorados hasta que Maxwell los descubriera y publicara en 1879.

En 1787, Coulomb estudió la distribución de la electricidad en los cuerpos y estableció que los no conductores tienen electricidad en toda su masa, mientras que los conductores sólo la tienen en su superficie, y que esta distribución no es uniforme, pues varía con la forma del cuerpo.

La ley de Coulomb sirvió de base a los trabajos analíticos de Poisson, Laplace, Green, Weber, Gauss, etc. y sus consecuencias teóricas son numerosas.

Poisson publicó una célebre memoria sobre la distribución de la electricidad en los conductores en 1811, y este importante estudio fué continuado por Hankel, Kirchhoff, Neumann, Lord Kelvin etc. En el estudio de Poisson se destaca el problema de las dos esferas, que fué tratado por Kelvin quién se basó en una teoría establecida por él mismo en 1846, siguiendo las ideas de Faraday y precediendo así a Maxwell.

7. *Poder de las puntas.* — El poder de las puntas, cuyo primer descubrimiento puede ser atribuído a Guericke (1660), fué estudiado por Bose (1738), Jallabert (1747) y por Franklin (1750), quien dedujo de allí su idea del pararrayo.

CAPITULO III

ELECTRODINAMICA

---

1. *La pila.* (Véase Volta). — En 1780, Galvani observó que si se tocan los nervios crurales de una rana con un metal, mientras funcionaba una máquina eléctrica, la rana tiene movimientos convulsivos. En 1786, observó que ocurre lo mismo si se une por un arco forrado por dos metales, las ancas y la médula espinal de una rana, sin necesidad de las descargas de la máquina de Galvani; atribuyó este fenómeno a la "electricidad animal" y comparó el cuerpo de la rana a una botella de Leyden en que la armadura externa y la interna están respectivamente representadas por las ancas y la médula del animal (1791).

En 1792, Fabbroni atribuyó el fenómeno eléctrico a causas químicas y, según él, el arco metálico en contacto con los líquidos animales sufre una oxidación, que a su vez causa los fenómenos eléctricos.

Volta no buscó el origen de esa electricidad en el animal, ni en las reacciones químicas, sino en el simple contacto de metales distintos. De allí nació una célebre disputa entre "galvanistas" y "voltaístas". Los galvanistas tenían buenísimos argumentos, mientras que la teoría del contacto era más difícil de establecer, ya que, hasta en nuestros días, no la hemos podido comprobar definitivamente; pero Volta terminó la discusión y acaparó completamente la atención de los sabios con el invento de la pila (1799-1800). En Inglaterra, Carlisle, Cruikshank, Deluc (suizo

radicado en Londres), Davy, Nicholson, Bennet, Wollaston, Pepys, descubrieron y estudiaron la acción química de la pila. Ritter, en Alemania, observó la descomposición del agua por la corriente y desarrolló una teoría de contacto eléctrico pero que depende de las relaciones químicas entre los cuerpos (1799).

En 1800, Gautherot emitió una nueva teoría química de la pila y, al año siguiente, Wollaston atribuyó el origen de toda forma de electricidad a reacciones químicas. Biot (1803) quiso establecer matemáticamente la teoría del contacto, a la que Ohm (1827) dió cierta ventaja con su descubrimiento de la ley que lleva su nombre, como consecuencia de la teoría del contacto. Davy, Ermann, Gay-Lussac, Thenard, Jaeger, Berzelius, admitieron una teoría intermediaria, que consideraba a las acciones químicas y al contacto como dos fuentes distintas de electricidad.

La opinión científica, que Ohm había inclinado hacia la teoría del contacto, fué conquistada por Augusto de la Rive (1835) y Faraday (1834-1840) para la teoría química, que se impuso completamente. Edmundo Becquerel fué uno de sus activos defensores, a pesar de hacer algunas concesiones al contacto; Matteucci la atacó y siguió defendiendo con entusiasmo la teoría de Volta.

Edmundo Becquerel, partidario de la teoría química de la electricidad, demostró sin embargo, en 1856, que en las máquinas de frotamiento la sustancia química que cubre las almohadillas no influye sobre la cantidad de electricidad producida.

En 1877, Helmholtz dió la teoría de un elemento de concentración, que fué desarrollada por Nernst (1888).

En nuestros dias el problema queda sin resolverse y se discute aún cuál tiene mayor influencia en la pila, si el contacto de los metales entre sí o si el de los electrólitos con los metales.

2. *Distintas pilas.* — Sólo recordaremos aquí los nombres de algunos modelos clásicos como la pila de columna y la pila de tazas de Volta, la de Cruikshank, la pila de

Wollaston perfeccionada por Muncke y por Hare, la pila de Davy y su histórica batería de enormes proporciones, la pila de A. C. Becquerel (1829), primera pila de corriente constante que lleva injustamente el nombre de Daniell (1836), la pila de Grove (1839), no menos injustamente atribuída a Bunsen (1843), la pila de sal amoníaco de Leclanché (1867) y su pila de aglomerado (1873).

Behrens, en 1806, y luego Deluc, en 1811, inventaron dos modelos de pilas secas, no siendo exacto, pues, atribuir el invento a Zamboni, quien, en 1812, construyó una pila parecida.

3. *Polarización electrolítica.* — Ritter, en 1799, observó un "cansancio" de la pila, que suprimía secando los electrodos. Gautherot en 1802, descubrió nuevamente la polarización y Fechner (1831), Poggendorff (1841) y Crova fueros precursores de Lenz (1843) en el estudio teórico de esta cuestión. Lenz estableció estas leyes principales: "La polarización aumenta con la corriente hasta un límite que depende de la naturaleza del electrodo y del gas". "La polarización disminuye si se reemplaza uno de los electrodos polarizados".

F. Kohlrausch, en 1873, amplió este estudio de la polarización.

4. *Otros orígenes de la electricidad.* — a) *Paso de los cuerpos de un estado a otro.* — Lavoisier y Laplace y Volta creyeron ver en la ebullición un nuevo origen de electricidad, pero se trata simplemente de un caso de frotamiento.

b) *Termoelectricidad.* — Seebeck observó, en 1821, que si se calienta un circuito formado por cobre y bismuto, circula una corriente que Oersted llamó "termoeléctrica". Seebeck estableció una lista de cuerpos termoeléctricos que Hankel (1844) y Kelvin (1855) confirmaron.

A. C. Becquerel (1829) demostró que la termoelectricidad no tiene origen químico pues se produce en los gases inertes. Estableció "series termoeléctricas" e inventó la "aguja termoeléctrica" o termómetro eléctrico.

Magnus descubrió que la fuerza electromotriz termoeléctrica sólo depende de la temperatura de las soldaduras y no de la repartición del calor en los metales.

El efecto descubierto por Peltier también debe ser relacionado con el estudio de este origen de la electricidad (1834).

Pouillet construyó una pila termoeléctrica de cobre y bismuto.

En 1856, Kelvin dió una teoría de la termoelectricidad en las sustancias cristalinas; descubrió el conocido "efecto Thomson" y observó que una simple deformación de un metal puede producir corrientes termoeléctricas.

En 1866, Edmundo Becquerel estudió la relación entre la fuerza electromotriz, la temperatura y la naturaleza de los metales. Descubrió así que el metal blanco con telurio o sulfuro de cobre produce una fuerza seis u ocho veces mayor que el bismuto de cobre.

c) *Piroelectricidad.* (Véase Canton). — Aunque se sospecha que el fenómeno haya sido conocido anteriormente, puede asegurarse que, en 1757, Aepinus observó que si se calienta turmalina se produce electricidad. B. Wilson (1759) observó el mismo fenómeno en la esmeralda; Canton (1760) hizo otro tanto con el topacio, y observó (1795) que en los extremos del cristal aparecen electricidades contrarias que se invierten durante el enfriamiento. Bergmann (1789) demostró también la proporcionalidad de la electricidad con el cambio de temperatura y la inversión de polaridad cuando se calienta o se enfría el cristal.

Estudiaron estos fenómenos Musschenbroek, Wilke, B. Wilson, Brewster, Gaugain, Hauy, Hankel, Kundt, Riecke, los hermanos Curie, Lippmann, Duhem, Kelvin. Wiedemann, Voigt, etc. Los hermanos Curie explicaron la piroelectricidad considerando cada molécula de cristal como un par de Volta.

d) *Piezoelectricidad.* — Este origen de la electricidad por compresión de los cristales piroeléctricos fué observado por Hauy, en 1817, y Becquerel descubrió la misma propiedad en otros cuerpos. Hankel, desde 1839, se ocupó de

este fenómeno que también fué ampliamente estudiado por los hermanos J. y P. Curie, en 1880.

e) *Electricidad animal.* — Los antiguos conocían la electricidad de la "raya torpedo". En 1714, Réaumur estudió este curioso fenómeno y lo consideró de origen mecánico. Bancroft y Walsh (1772) demostraron su origen eléctrico. En 1870, los experimentos de Galvani dieron un gran impulso al estudio de la electricidad fisiológica, que ahora se estudia no sólo en los animales sino también en los vegetales.

5. *Calor de las corrientes.* — Davy (1822) ya creyó poder determinar la conductibilidad eléctrica de los metales, según el calor que en ellos provocaba el paso de la corriente, y Ohm y Fechner admitieron la proporcionalidad entre la resistencia y el calor así producido.

En 1841, Joule enunció que el calor desprendido en un circuito cerrado es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, a la resistencia y al tiempo; es el "calor de Joule". En 1843, Edmundo Becquerel estudió el mismo fenómeno y, en 1844, Lenz completó la ley agregando que si se disminuyera la temperatura de un conductor se disminuiría su resistencia. En 1852, Clausius dió la demostración teórica de la ley de Joule-Lenz.

6. *Fuerza electromotriz de una pila.* — Esta fuerza no es siempre equivalente a su efecto termoquímico, como lo estableció Lord Kelvin (regla de Thomson); puede ser mayor o menor, como lo demostró Helmholtz, que estableció la fórmula:

$$E = q + T \frac{\delta E}{\delta t}$$

7. *Osmosis y capilaridad eléctricas.* (Véase Helmholtz). En 1807, Reuss observó la ósmosis eléctrica, o sea el transporte del electrólito por la corriente, y esto fué comprobado por Becquerel y por Porret (1816). Daniell se ocupó del

mismo fenómeno en 1842. En 1852, Wiedemann estableció sus leyes y Quincke, que la estudió en 1861, emitió la hipótesis de la doble capa, que Helmholtz explicó matemáticamente en 1879.

Quincke estudió al mismo tiempo los fenómenos electrocapilares; los explicó con la misma hipótesis que la electroósmosis y Helmholtz también desarrolló este nuevo aspecto de la teoría de Quincke (1881).

Pero este estudio ya tenía antecedentes: En 1800, Henry había observado que sumergiendo un electrodo negativo de mercurio en agua acidulada, la forma de la gota de mercurio se modifica. Erman (1809) realizó numerosos experimentos ya con una gota de mercurio en agua acidulada, ya con una gota de agua acidulada en la superficie del mercurio y observó siempre deformaciones al hacer pasar la corriente. J. Herschel (1824) repitió y amplió los experimentos.

De 1872 a 1875, Lippmann estudió la electrocapilaridad y llegó a encontrar la unión entre la constante capilar de la fórmula de Laplace y la diferencia de tensión eléctrica. Inventó, a raíz de este estudio, su conocido "electrómetro capilar", que permite medir la diferencia potencial de contacto entre un metal y un líquido, estudiada teóricamente por Helmholtz (1881). Como otra aplicación de este estudio, Lippmann imaginó un motor electrocapilar, único en su género.

8. *Resistencia. Diferencia de potencial.* — De 1820 a 1827, Ohm se preocupó de la determinación de medidas exactas en los fenómenos eléctricos y estableció así sus célebres leyes sobre la relación entre la resistencia, la fuerza electromotriz y la intensidad, sobre la diferencia de potencial entre dos elementos de un circuito y sobre la fuerza electromotriz producida por contacto. Pouillet (1835) tiene también ciertos derechos al descubrimiento de la ley de la resistencia, a pesar de haberla estudiado mucho después de Ohm.

Antes de Ohm y de Pouillet, deben citarse a Ritter, a Davy y a Erman (1801), que ya se habían ocupado del estudio de la resistencia eléctrica.

Fechner, en 1831, estudió la resistencia en pilas hidroeléctricas, mientras que Ohm la había estudiado en pilas termoeléctricas.

Wheatstone (1843) hizo un estudio experimental de la ley e inventó su célebre "puente".

En 1846, Ed. Becquerel estudió la resistencia de los metales a distintas temperaturas con el galvanómetro diferencial; la resistencia de las soluciones salinas y su relación con su grado de concentración. Estudió la resistencia de los gases a altas temperaturas en 1853.

Kohlrausch (1848) comprobó, con un electrómetro especial, la ley de Ohm, a la que Marie-Davy (1846) encontraba excepciones; y Despretz (1852) volvió a estudiar esas irregularidades.

R. Kohlrausch estudió también la resistencia de los líquidos y con tal fin inventó una especie de puente de Wheatstone, en que el galvanómetro era reemplazado por un teléfono.

Kirchhoff (1853) verificó la ley de Ohm de un modo indirecto, en el estudio de la distribución del calor en una lámina. Gaugain (1860) comprobó la ley en cuerpos muy malos conductores; Wiedemann, Ebert, Beetz, Maxwell, Nernst, Ed. Becquerel y muchos otros prosiguieron este estudio.

Kelvin estudió la resistencia y construyó "el puente de Thomson", de igual aplicación que el de Wheatstone.

Fenómeno de Hall. — E. E. Hall observó, en 1880, el conocido "fenómeno de Hall" y Righi (1883) dió a este descubrimiento toda su importancia. Descubrió que el bismuto denuncia con más intensidad el fenómeno de Hall y descubrió el "efecto Righi" o sea el fenómeno térmico análogo al fenómeno de Hall.

9. *El electromagnetismo y teorías* (véase Oersted, Ampère, Maxwell, Rowland, Hertz y Lorentz). — La ana-

logía entre la electricidad y el magnetismo había preocupado a muchos sabios desde siglos atrás; pero es en Descartes que se encuentra una de las primeras afirmaciones concretas al respecto. El estudio de la electrostática y del magnetismo se prosiguieron aún mucho tiempo separadamente y debemos esperar el siglo XIX para que se establezca el contacto entre la electricidad y el magnetismo por un experimento indiscutible.

Según Libri, en 1802, Romagnosi habría observado la desviación de la aguja magnética por la corriente, pero este hecho, tal vez mal interpretado por su observador, habría pasado totalmente inadvertido. Pero Erlenmeyer (1859) demostró que era inexacta esta afirmación de Libri.

En 1819, Oersted observó la desviación de la aguja magnética por la corriente, y como hacía años que le preocupaba esta cuestión, apreció su importancia y divulgó su descubrimiento. Arago tuvo conocimiento del experimento de Oersted en Ginebra, donde lo vió realizar por de la Rive, en 1820. Lo reprodujo en la Academia de Ciencias de París el 11 de setiembre del mismo año y Ampère, un matemático cuya obra ya parecía polarizada hacia otros horizontes, concibió las vastas consecuencias que debían derivar del experimento de Oersted y, con una rapidez de concepción casi única en la historia de las ciencias, empezó en la sesión siguiente de la Academia, el 18 de setiembre de 1820, la lectura de la inmortal memoria con que creó el electromagnetismo. En varias sesiones sucesivas, con el asombro de toda Europa, desarrolló su estudio de la acción mutua de las corrientes, su teoría del magnetismo y su teoría de la electrodinámica, que sirve de base a la teoría de Weber y a la de Neumann, quien comprendió en ella la inducción.

En el mismo año de 1820, en octubre, Biot y Savart establecieron su conocida ley sobre la fuerza ejercida por una corriente cerrada sobre un polo magnético. Esta ley fué desarrollada por Schmidt (1822). En noviembre de 1820, Arago en Francia y Davy y Wollaston en Inglaterra lograron imanar agujas por la chispa eléctrica.

En el mismo mes, Yelin en Munich demostró que podía imanar una aguja colocándola en un tubo de vidrio alrededor del cual arrollaba en espiral el hilo eléctrico.

En 1821, Faraday provocó la rotación del hilo eléctrico por un imán y vice-versa. Ampère amplió su teoría y continuó el estudio de esos fenómenos de rotación.

En 1822, inventó el solenoide, imán artificial del que debía derivar el invento del electroimán que fué realizado en su principio por Ampère y Arago. Este último descubrió la atracción de la limadura de hierro por la corriente, la imanación por la corriente (ya conocida por Mojon, según Aldini), la imanación momentánea del hierro dulce y el magnetismo de rotación.

En 1826, Ampere publicó su célebre "Teoría de los fenómenos electrodinámicos, deducida exclusivamente de la experiencia".

De 1846 a 1871, Weber edificó su teoría electrodinámica derivada de la obra de Coulomb y que comprende las ecuaciones de Ampère y la inducción de Faraday, supone la existencia de dos electricidades de sentidos opuestos y velocidades iguales, y reduce la acción de dos elementos a una fuerza única. En esa teoría, Weber emitió la idea que la corriente eléctrica puede ser debida al transporte de pequeñas partículas eléctricas y esta idea lo hace indiscutiblemente precursor de la teoría electrónica.

Weber estudió los fenómenos electromagnéticos, teórica y experimentalmente, y fué el primero en comprobar las leyes de Ampère con su "electrodinamómetro".

Helmholtz y Neumann hicieron la crítica de la teoría de Weber, cuya importancia disminuyó cuando aparecieron las teorías de Helmholtz y de Maxwell.

Helmholtz no admitía como Ampère la hipótesis de una fuerza sola entre dos elementos de corriente y creía en la necesidad de una fuerza y un par, y, mientras Ampère no podía admitir la existencia de un potencial elemental, Helmholtz lo consideraba necesario. La teoría de Helmholtz es considerada como un perfeccionamiento de la teoría de Ampère con la cual coincide en cuanto a las corrien-

tes cerradas. Por otra parte, Maxwell eliminó el principal punto de discordia entre Ampère y Helmholtz suprimiendo en su teoría las corrientes abiertas.

En su estudio de la teoría de Weber, Helmholtz se detuvo especialmente en su hipótesis de la constitución corpuscular de la corriente y creyó que esta hipótesis podría encontrar una confirmación en la acción electromagnética ejercida por una carga eléctrica en movimiento, acción que Maxwell había previsto teóricamente. Helmholtz encargó a sus alumnos de las investigaciones de esta cuestión, pero todos sus resultados fueron negativos hasta que Rowland, en 1876, descubrió el "fenómeno de Rowland" que demuestra que una carga eléctrica en movimiento obra sobre una aguja magnética como una corriente de conducción.

Los admirables experimentos de Rowland fueron repetidos con éxito por varios sabios y el fenómeno de Rowland fué aplicado a la explicación de los rayos catódicos, de las chispas eléctricas, del fenómeno de Zeeman y sirvió sobre todo para comprobar la teoría de los electrones. No fué sin embargo admitido por todos. Lippmann ya creyó encontrar pruebas en contra y Crémieu, en 1901, realizó experimentos en oposición con los resultados de Rowland, que causaron sensación en el mundo científico. Rowland murió en ese mismo año y su discípulo Pender se encargó de la defensa de sus afirmaciones. El litigio era importante; del éxito de Pender dependía la estabilidad de las teorías fundamentales de la electrodinámica y el porvenir de la teoría de los electrones. Crémieu y Pender se reunieron en París y sus trabajos fueron presenciados por una comisión de sabios integrada por E. Poincaré. Pender, o sea Rowland, triunfó.

Desde 1856, Maxwell se ocupó de la traducción y ampliación matemática de las ideas de Faraday, y en esta fecha publicó su memoria sobre "las líneas de fuerza de Faraday", pero fué en 1867 que presentó los principales puntos de su teoría, y la desarrolló en 1873, en su tratado sobre electricidad y magnetismo. En esta teoría se encuentra incluída una teoría electrostática que puede ser separada de la

teoría electromagnética (véase "Fenómenos eléctricos y teorías"). La célebre teoría electromagnética de Maxwell, que incluyó en el electro-magnetismo a la óptica, no da exactamente una imagen física de esos fenómenos, pero establece la posibilidad de una explicación mecánica del electromagnetismo y expresa las consecuencias matemáticas que deberían forzosamente resaltar de cualquier hipótesis. Maxwell tomó como punto de partida la necesidad de una explicación mecánica y rechaza la acción a distancia, que reemplaza por la influencia del éter. De estas afirmaciones surgen, con los razonamientos matemáticos, importantes consecuencias y analogías, como la existencia de ondas electromagnéticas, la igualdad de la velocidad de esas ondas, la relación entre las unidades absolutas electrostática y electromagnética, la igualdad de esta relación con la velocidad de la luz. La experiencia confirmó las conclusiones y las analogías que surgieron de los desarrollos teóricos de Maxwell.

En 1844, Hertz estudió teóricamente la teoría de Maxwell y se declaró partidario de ella; buscó su comprobación experimental y, en 1888, realizó los célebres experimentos con que mostró la marcha de las "ondas hertzianas", que dieron nacimiento a la telegrafía sin hilos. En su estudio teórico Hertz redujo toda la teoría de Maxwell a un sistema de seis ecuaciones, llamadas con toda justicia "ecuaciones de Maxwell-Hertz".

Como predecesores de Hertz en la realización del experimento comprobatorio de la realidad física de las ondas electromagnéticas deben citarse: a Helmholtz, por haber estudiado las oscilaciones eléctricas y reconocido la discontinuidad de la chispa; a Kelvin, por haber demostrado, en 1855, que la chispa es oscilante como un péndulo; a Henry, que ya había observado chispas en un circuito durante la descarga de una botella de Leyden; a Feddersen (1858), por haber estudiado la duración de las oscilaciones de la chispa; a Hughes, que estudió la misma cuestión, y a von Bezold (1870) por haber medido la longitud de onda de las oscilaciones eléctricas y haber observado interferencias en hilos conductores.

Hertz descubrió una nueva relación entre la luz y la electricidad al descubrir el "efecto de Hertz" o sea la influencia de los rayos ultravioletas sobre las descargas. Hertz realizó, en fin, con las ondas, una serie de experiencias para demostrar que su propagación es idéntica a la de la luz (reflexión, refracción, interferencias, etc.).

Entre los comentadores de la teoría de Maxwell debemos citar especialmente a Enrique Poincaré, a Duhem que la prefería a la teoría de Helmholtz y a Potier, que la defendía.

Las ondas electromagnéticas obtenidas por Hertz tenían como mínimum 60 centímetros de longitud o sea casi un millar de veces la longitud de las ondas del amarillo de la llama de sodio. Righi, Lebedeff y Lampa redujeron la longitud de las ondas electromagnéticas a seis o cuatro milímetros. Langley, por su parte, buscó ondas luminosas más largas en el espectro infrarrojo y las obtuvo de casi seis milésimos de milímetro. Rubens, Paschen y Nichols prosiguieron estas investigaciones y lograron obtener longitudes de ondas luminosas de tres décimos de milímetro.

La teoría de Maxwell no pudo extenderse a los fenómenos de electrólisis y no logró explicar tampoco los nuevos fenómenos descubiertos a fines del siglo XIX como los rayos catódicos y sus consecuencias, el efecto de Hertz de los rayos ultraviolados sobre los cuerpos electrizados, los nuevos fenómenos de óptica magnética y especialmente el fenómeno Zeeman.

Hemos visto que, de Dufay a 1870, se admitió generalmente la teoría eléctrica de los dos flúidos; de 1870 a 1900, se admitió la teoría de Maxwell, pero su imposibilidad de explicar los fenómenos que acabamos de citar determinó su abandono y la adopción de la teoría de los electrones. El concepto de la constitución corpuscular de la electricidad se encontraba ya en muchos autores de las dos últimas décadas del siglo XIX y entre ellos citaremos al mismo Maxwell, a Weber, Helmholtz, Kelvin, Arrhenius, Elstery, Geitel, Giesse, Richard y Stoney, que imaginó el término de "electrones" (1894); Larmor y Wiechert, que desarrollaron la

teoría física; Riecke, Drude, Rutherford, Voigt, J. J. Thomson, Langevin, y sobre todo Lorentz que, desde 1880, se ocupó de la teoría electrónica.

También debe recordarse que las leyes electrolíticas de Faraday muestran que cada átomo de materia transporta una carga eléctrica determinada y establecen, por consiguiente, una analogía entre el atomismo material y la electricidad.

La teoría de los electrones no reniega además de las dos teorías eléctricas anteriores; al contrario, une los conceptos fundamentales de Maxwell con el concepto anterior de la materialidad de la electricidad, especialmente con la representación que de ella hacía Franklin.

Al principio, la teoría electrónica fué simplemente matemática, pero pronto se hicieron hipótesis físicas acerca de la imagen del electrón y se llegó a considerar que la materia, en último grado, no es sino electricidad. J. J. Thomson, presenta el átomo material como un núcleo de electricidad positiva en que se mueven los electrones. Lorentz y Larmor suponen que los electrones giran como planetas alrededor del centro positivo. Kelvin imaginó el átomo como una esfera de electricidad positiva en que los electrones formarían capas concéntricas.

En 1900, J. J. Thomson imaginó su método de medida directa de la carga de un electrón, de donde se deduce su velocidad. Wilson (1903) y sobre todo Millikan (1910) perfeccionaron este método.

La teoría electrónica se extiende a toda la física y especialmente a la óptica y al calor radiante. Sus consecuencias alcanzaron hasta la mecánica clásica, pues contribuyeron al establecimiento de la teoría de la relatividad de Einstein.

10. *Electroimanes.* — El electroimán, "el invento más importante desde la imprenta", se debe a los trabajos de Ampère y de Arago (véase más arriba). Arago imaginó muchos otros experimentos con dispositivos cada vez más prácticos y observó la imanación momentánea del hierro dulce.

En 1825, Sturgeon construyó el primer electroimán de herradura; al año siguiente, Brewster los construyó y los estudió teóricamente; en 1828, Henry dió varias vueltas al hilo del electroimán imitando el dispositivo del galvanómetro multiplicador; en 1830, Pfaff escribió una memoria sobre los electroimanes. Pouillet (1835) agregó ciertos perfeccionamientos a su gran electroimán de la Sorbona.

De 1838 a 1844, Jacobi y Lenz hicieron determinaciones de la intensidad de la fuerza de los electroimanes y de los factores que la modifican. Lenz (1839) estableció que la atracción del electroimán es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente, mientras el momento magnético esté alejado de su máximum. Joule (1839) determinó este máximum.

11. *Galvanómetro.* — Oersted, con su célebre experimento, inventó el primer galvanómetro (1819). Nobili lo empleó como instrumento de medida. Schweigger y Poggendorff (1820), casi simultáneamente, inventaron el galvanómetro multiplicador, cuyo nombre fué dado por Seebeck (1822), quien hizo interesantes observaciones sobre su funcionamiento.

A. C. Becquerel inventó el galvanómetro diferencial, en 1846.

Kelvin inventó su galvanómetro de espejo, en 1859, a raíz de su estudio de la telegrafía submarina, y lo perfeccionó en 1867, con el "sifón recorder", aparato registrador.

12. *Inducción.* — Ampère ya hablaba de inducción, sin darle suficiente importancia, cuando decía, que: "Una corriente eléctrica tiende a poner en movimiento a la electricidad de los conductores cerca de las cuales pasa..."

Arago, en 1822, observó que una aguja magnética tenía más oscilaciones cuando estaba fuera de su estuche y descubrió entonces que muchos cuerpos influyen sobre las oscilaciones de la aguja. Gambey ya había observado que una lámina de cobre colocada debajo de una aguja magnética se opone a sus oscilaciones. En 1824, Arago hizo gi-

rar un disco de cobre colocado debajo de la aguja y observó que ésta se desviaba y hasta podía girar si se daba al disco la velocidad suficiente. Llamó a la causa de estos fenómenos "magnetismo de rotación".

Estableció entonces la ley llamada de Lenz, pero sin hablar de "inducción" sino de "magnetismo de rotación", que atribuía a fuerzas comparables al frotamiento.

Seebeck, Prévost y Colladon, Christie, Poisson, Nobili, Antinori, Bacelli, Barlow, Babbage, Herschel, Prévost y muchos otros físicos estudiaron el magnetismo de rotación, pero parecía que sólo se trataba de un fenómeno aislado, hasta que, en 1831, Faraday inició sus célebres experimentos...

Colladon debe también ser citado antes que Faraday en la historia de la inducción, pues imaginó exactamente el mismo experimento que éste, pero, por exceso de precaución, colocó el galvanómetro en otro cuarto y no pudo observar así su oscilación momentánea cada vez que abría o cerraba la corriente.

En 1831, Faraday empezó sus grandes estudios de electricidad y habló ya de inducción electromagnética y de líneas de fuerza magnética como consecuencia de su estudio del "magnetismo de rotación" de Arago. Estableció definitivamente la existencia de la inducción observando que al abrir y al cerrar una corriente que pasa por un selenoide, otro solenoide en comunicación con un galvanómetro es recorrido por una corriente "inducida".

En 1834, Faraday descubrió la "self inducción" gracias a una observación hecha por Jenkin. En ese mismo año, Lenz estableció la ley que Arago ya conocía en principio sin conocer la inducción, ley que reunía en su enunciado general todos los casos de inducción.

Con todos estos nuevos elementos de juicio, Faraday, Nobili y más tarde Matteucci (1857), Jochmann (1863), Riecke (1876), Henry y otros, verificaron y ampliaron las observaciones y las determinaciones y medidas de todos los fenómenos que Arago comprendía en el "magnetismo de rotación".

En 1837, Faraday inventó el "cilindro de Faraday", estableció el conocido "teorema de Faraday" e inventó la "jaula de Faraday", que demuestra que un conductor aislado y electrizado no ejerce influencia sobre un cuerpo colocado en su interior, como ya lo había demostrado matemáticamente Green, y que recibió una hermosa aplicación en el "pararrayo de Melsens".

Transformadores. — El transformador fué inventado por el mecánico Gaulard (1882).

13. *Carrete de inducción.* — Masson fué el primero que tuvo la idea del carrete de inducción y lo realizó en colaboración con Breguet en 1848. Augusto de la Rive imaginó el conmutador, Foucault el interruptor electromagnético y Fizeau el condensador de hojas de estaño; pero fué Ruhmkorff (1851) quien dió su forma definitiva al carrete de inducción que desde entonces lleva su nombre.

14. *Corriente de Foucault.* — En 1845, Faraday observó que un cuerpo es detenido en su movimiento en un campo magnético constante; es el experimento inverso al de Arago y Gambey. Tyndall volvió a descubrir el mismo hecho en 1849 y Foucault y Joule observaron la transformación en calor de la energía cinética del cuerpo detenido. Ruhmkorff inventó un aparato especial para el estudio del fenómeno.

Foucault estudió ampliamente la cuestión en 1855 y, por este motivo, se adoptó en Francia el nombre de "corrientes de Foucault".

15. *Electrólisis.* — Puede considerarse que la historia de la electrólisis empieza con el invento de la pila de Volta, pues ya en 1799, Ritter descompuso el agua con la corriente galvánica y, desde 1800, los sabios ingleses y sobre todo Nicholson, Carlisle y Davy observaron la acción química de la corriente.

Debe recordarse sin embargo, que, antes del invento de la pila, algunos sabios habían observado la acción química de la electricidad y particularmente la descomposi-

ción del agua por la descarga de la botella de Leyden.

De 1806 a 1807, Davy y Grotthus establecieron casi simultáneamente una teoría del mecanismo de la electrólisis.

En esa teoría que lleva generalmente sólo el nombre de Grotthus, ya existe la imagen de dos corrientes de iones que se mueven constantemente, y la consideración que la corriente descompone el electrólito, como lo afirmaban todas las teorías anteriores a Clausius y a Arrhenius.

Durante toda la primera mitad del siglo XIX, la teoría de Grotthus fué generalmente admitida y los trabajos de Berzelius (1812), Poggendorff, Pfaff, Fechner (1832), Parrot, Augusto de la Rive (1856) y otros, no la cambiaron fundamentalmente.

Una de las fechas más importantes en la historia de la electrólisis es la de 1833, cuando Faraday descubrió sus conocidas leyes cuantitativas (véase Faraday), que Matteucci también estudiaba en la misma época; pero Faraday no se ocupó de la teoría del mecanismo de la electrólisis. Introdujo en la ciencia la términos de electrólisis, electrodo, electrólito, ánodo, cátodo, iones, aniones, cationes.

En 1839, Daniell demostró que el agua no toma parte alguna en la descomposición de la sal por la corriente.

En 1844, Ed. Becquerel estudió las leyes de Faraday y observó que en los compuestos binarios de proporciones variables la ley de los pesos atómicos debe ser aplicada al metaloide y no al metal.

De 1853 a 1859, Hittorf realizó trabajos experimentales que le permitieron determinar los "factores de transporte de los iones", y F. Kohlrausch le agregó, en 1876, su "ley del transporte independiente de los iones" y encontró la relación entre la movilidad de los iones y la conductibilidad de las substancias.

En 1857, Clausius demostró que la más ínfima fuerza eléctrica provoca electrólisis en cualquier electrólito; dedujo de allí que no puede admitirse que la electricidad vence la afinidad química y propuso considerar que la disociación de los iones es el resultado de los choques entre moléculas y que la corriente no hace más que obrar sobre iones libres.

En 1880, Helmholtz desarrolló la teoría de Clausius y la hizo concordar con los principios de termodinámica.

Arrhenius en fin, de 1887 a 1888, estableció su célebre teoría que es la base de la teoría moderna de la electrólisis. Arrhenius empezó por considerar los electrólitos como gases disociados, como lo había hecho su maestro Van't Hoff en sus célebres leyes osmóticas. Arrhenius estableció entonces que una parte de las moléculas del electrólito están disociadas y que este grado de disociación depende de la concentración de la solución y aumenta cuando ésta disminuye. De allí, Arrhenius sacó un gran número de consecuencias y estableció relaciones inesperadas entre el grado de disociación, la movilidad de los iones, la conductibilidad eléctrica, la temperatura, el punto de congelación, la tensión del vapor del electrólito y su presión osmótica.

Ostwald, Nernst, Van't Hoff, Planck se preocuparon del desarrollo de estos importantes descubrimientos del Arrhenius.

16. *Galvanoplastia*. — En 1802, Brugnatelli, amigo de Volta, previó la posibilidad del dorado galvanoplástico. Daniell y Aug. de la Rive observaron separadamente que cualquier relieve del cilindro interior de la pila de Daniell era reproducido por el depósito de cobre que en él se forma. En 1837, H. M. Jacobi volvió a hacer la misma observación pero, llevando más lejos sus investigaciones, inventó la galvanoplastia (1839). Spencer, para quien los ingleses reclaman derechos, no parece haber sido más que un aplicador. Aug. de la Rive imaginó un método de dorado galvanoplástico que inspiró a los industriales Elkington, Ruolz, Christofle y otros.

17. *Unidades eléctricas*. — Hemos visto que Ohm fué uno de los primeros en bregar por la adopción de medidas exactas en el estudio de los fenómenos eléctricos. Poggendorff y Schweigger contribuyeron al establecimiento de esas medidas con su invento del galvanómetro multiplicador.

De 1835 a 1844, Lenz y Jacobi se ocuparon de las medidas electromagnéticas. En 1846, Jacobi envió a los físi-

cos un alambre de cobre como tipo de resistencia, pero esta medida no era fija.

En 1852, Weber prestó mucha atención a las medidas eléctricas absolutas: intensidad, fuerza electromotriz y resistencia, y sus propuestas fueron aceptadas en Alemania, donde se dió el nombre de "weber" a la unidad de intensidad de corriente determinada por sus efectos electromagnéticos y comparada a las unidades mecánicas de Gauss (milímetro, milígramo, masa, segundo). Weber escribió en colaboración con R. Kohlrausch (1857) una obra titulada "Medidas Electrodinámicas", que es una verdadera teoría de esas medidas y en la cual se establece la relación entre la unidad electro-magnética y la unidad electrostática.

La Asociación Británica prefirió relacionar las medidas eléctricas con las medidas mecánicas C.G.S. (centímetro, gramo, segundo); pero conservó el nombre de "Weber" a la unidad de intensidad.

En 1881, el Congreso Internacional de París aceptó las medidas de la Asociación Británica, pero dió el nombre de "ampère" (Amperio) a la unidad de intensidad.

Rowland hizo determinaciones de gran exactitud de las medidas eléctricas y especialmente del ohmio, para la Conferencia de Electricistas de 1884.

Efluvio eléctrico — El efluvio eléctrico fué observado por Dumoncel y luego fué estudiado por P. Thenard y por Berthelot.

18. *Descargas en el vacío.* — *Rayos X, etc.* — El abate Nollet fué uno de los primeros en observar descargas eléctricas en el vacío.

Geissler inventó sus célebres tubos; Faraday descubrió el espacio obscuro en 1838; Quet, Abria, Grove y Gassiot observaron la estratificación de la luz en el "huevo eléctrico". En 1869, Hittorf observó los rayos catódicos y, en 1878, Crookes se dedicó especialmente al estudio de esta cuestión, que debía ser tan fértil en descubrimientos, y analizó detenidamente las principales propiedades de los rayos catódicos: propagación en línea recta, fosforescencia, fluo-

rescencia, efectos caloríficos, químicos y mecánicos, desviación por el imán, etc. Crookes buscó su explicación teórica en la teoría cinética de los gases y los consideró como el bombardeo, desde el cátodo, de las moléculas residuales del gas, o sea un cuarto estado de la materia: "la materia radiante". Esta explicación, que coincidía con la opinión de Varley y de Riecke, fué muy discutida. Gintl y Puluj propusieron el nombre de "materia electrodo-radiante", pues consideraban que los rayos no están formados por las moléculas residuales del gas sino por partículas desprendidas del cátodo. Righi defendió las ideas de Crookes. En 1882, Giese pensó en una explicación electrolítica de los rayos catódicos y ésta fué reconsiderada después del éxito de Arrhenius, por Righi, J. J. Thomson y Schuster (1890). Crookes mismo, admitía esta explicación que no se oponía a su concepto de la "materia radiante". Hertz (1892) creyó destruir la teoría de Crookes con el descubrimiento de la transparencia de finas láminas de aluminio a los rayos catódicos, pero Arons descubrió que estas láminas también podrían ser transparentes para los iones de un electrólito. Pero J. J. Thomson, Righi, Perrin y algunos otros sabios demostraron que, si las partículas o iones o moléculas residuales existieran en los rayos catódicos, deberían tener una masa correspondiente a la duomilésima parte del átomo de hidrógeno. Debía abandonarse pues, la suposición de la constitución material de los rayos y se imponía la admisión de la teoría de los electrones que, en la misma época, ofrecían también la solución salvadora para varios otros difíciles problemas de la física (véase Electromagnetismo y teorías).

En 1886, Goldstein descubrió los "rayos canales" que se propagan en línea recta por agujeros hechos en el cátodo con dirección opuesta a los rayos catódicos. Wien, en 1897, estudió esos rayos y demostró que tienen una carga positiva y que la relación entre la masa y la carga es mucho mayor que en los rayos catódicos.

En 1894, Lenard, preparador y colaborador de Hertz, descubrió los "rayos Lenard" o más bien estudió los rayos catódicos después de haber atravesado una fina lámina de

aluminio, como lo había hecho Hertz, en 1892. Demostró que esos rayos impresionan la placa fotográfica, provocan la fosforescencia, son desviados por el imán, rodean los cuerpos opacos y son absorbidos por el ambiente. De esas observaciones, Lenard dedujo que se debía rechazar la hipótesis de Crookes de la "materia radiante" y que se debía considerar a los rayos catódicos como una vibración del éter.

En 1895, Roentgen observó la fluorescencia de una pantalla con platino-cianuro de bario, que no se encontraba en la dirección de los rayos catódicos; colocó una hoja de cartón para impedir esta fluorescencia y la hoja de cartón no cumplió su cometido... Roentgen tuvo el presentimiento de encontrarse ante un fenómeno desconocido e investigó. Observó las principales propiedades de la nueva radiación, los rayos X, e insistió sobre el hecho de que no son desviados por el campo magnético como los rayos catódicos. Y Roentgen se preguntó: "¿Esos nuevos rayos no deberían atribuirse a ondas longitudinales del éter?".

El descubrimiento de Roentgen provocó un gran número de investigaciones y entre ellas la clasificación de los rayos X según su penetrabilidad por Benoist; la determinación de la energía llevada por los rayos X por Rutherford y Clungh; la demostración de Curie y Sagnac de que los rayos X no tienen carga eléctrica apreciable, como los rayos catódicos; la determinación de la velocidad de los rayos X por Blondlot; la demostración de su difracción por Laue, Friederich y Knipping, etc. Debe recordarse también la explicación de Stokes (1896), que consideraba los rayos X como ondas de duración muy breve y no periódicas.

19. *Radioactividad*. — En 1896, Enrique Poincaré emitió la idea de que sería interesante saber si todos los cuerpos fluorescentes emiten rayos X como lo hace el vidrio vuelto fluorescente por la acción de los rayos catódicos. Esta idea indujo a Enrique Becquerel a estudiar las materias fluorescentes y fosforescentes y su acción fotográfica. Descubrió así que las sales de uranio emiten radiaciones menos penetrantes que los rayos X, pero que tienen las

demás propiedades de éstos: son los "rayos Becquerel". Si buscamos precursores para este importante descubrimiento, veremos que, en 1867, Niepce de Saint Victor había descubierto ya la acción fotográfica de las sales de uranio y que, en 1895, Henry, Niewenglowski y Troost hicieron experimentos parecidos a los de Becquerel con varios cuerpos fluorescentes. Pero el mérito de Becquerel es haber demostrado que se trataba de un fenómeno nuevo, independiente de la fluorescencia. Kelvin, Beattie, Smoluchowski, Elster, Gietel, Schmidt se interesaron en el descubrimiento, y los esposos Curie le dieron el nombre de "radioactividad".

Primero, los rayos Becquerel fueron considerados como una especie nueva de rayos X, pero, en 1898, la señora Curie y Schmidt descubrieron simultáneamente que el torio tiene la misma propiedad que el uranio, y los esposos Curie encontraron que algunos minerales de uranio o de torio son más activos que el uranio o el torio puros.

Sospecharon entonces la existencia de un elemento nuevo en esos minerales y separaron, con la ayuda de Bemont, el "radio" y el "polonio". En 1899, Debierne y Giesel, simultáneamente, separaron el "actinio". En 1902, se extrajo el "radio-plomo"; en 1905, el "radiotorio" y el "mesotorio" fueron separados por Hahn. El "ionio" fué obtenido por Boltwood, en 1907. Curie y Demarçay hicieron el análisis espectral de los nuevos cuerpos; Enrique Becquerel, Giesel, Stefan Meyer, von Schweidler y Rutherford sometieron las radiaciones a los campos eléctrico y magnético y las dividieron en rayos α, β, y γ. Rutherford demostró la desviación de los rayos α; Villard descubrió los γ, en 1900; y Rutherford y Andrade estudiaron su reflexión. Curie (1900) determinó la distancia que recorren los α en el aire y Rutherford (1903), Becquerel y Decoudre determinaron su velocidad; Geiger estableció una fórmula que permite determinar la distancia, en función de la velocidad y de una constante característica del elemento. Curie demostró que las partículas α llevan carga positiva y las γ, negativa. Curie y Laborde (1903) observaron la producción de calor en las sales de radio. Curie y Dewar estudia-

ron el mismo fenómeno; y Debierne lo observó en el "actinio". La señora Curie determinó el peso atómico del radio. Curie y Laborde observaron la radioactividad de muchos cuerpos especialmente de aguas minerales.

Los esposos Curie explicaron los fenómenos radioactivos por la "teoría de la emanación", y Rutherford y Soddy la ampliaron (1902) y dieron la "teoría de la desintegración de los elementos radioactivos".

Soddy y Mac Kenzie demostraron experimentalmente que el radio proviene del uranio. El ionio de Boltwood sería un elemento intermediario entre el uranio y el radio.

G. Lebon emitió la atrevida hipótesis de la desintegración general de la materia. Ramsay presentó científicamente la posibilidad de la trasmutación de la materia; Rutherford y la señora Curie no coinciden con él en los resultados experimentales, pero J. J. Thomson obtuvo resultados a favor de Ramsay.

En 1896, el Dr. Freund fundó la radioterapia.

CAPITULO IV

APLICACIONES

---

1. *Telégrafo eléctrico* (véase Lesage, Morse, Kelvin). — El telégrafo óptico, que comprende los fuegos de los chinos, griegos, cartagineses, romanos, persas y árabes, tanto como los telégrafos de señales de Hooke (1684), Amontons (1702), o de Chappe (1792), fué empleado hasta la primera mitad del siglo XIX, a pesar de todos los esfuerzos realizados a favor del telégrafo eléctrico.

Hacia la mitad del siglo XVIII, a raíz del descubrimiento de la conductibilidad de la electricidad, varios sabios pensaron en la posibilidad de emplear el flúido eléctrico para la trasmisión de señales. En 1774, Lesage construyó el primer telégrafo eléctrico; pero sólo fué un aparato de la-

boratorio. Pocos años más tarde los estados europeos adoptaban el telégrafo óptico de Chappe. Lhomond (1787), Reiser (1794), Betancourt (1787), Salvá (1796) inventaron telégrafos eléctricos más o menos parecidos al de Lesage. Merece recordarse con más atención un telégrafo de cuadrante con pila de Volta, que fué inventado por Alexandre en Poitiers, en 1802, pero que, a pesar del progreso que significaba, no tuvo el menor éxito.

En 1811, Sommering empleó pilas y voltámetros en lugar de las máquinas y de los péndulos del telégrafo de Lesage. En 1820, Ampère propuso el empleo de agujas magnéticas en lugar de voltámetros.

Más interesante que estos tanteos es el descubrimiento hecho por Steinheil, en 1838, a indicaciones de Gauss, de que se puede suprimir uno de los hilos y cerrar el circuito con un hilo a tierra.

En 1844, Gauss y Weber instalaron entre sus residencias respectivas el primer telégrafo eléctrico de uso práctico. En este aparato el receptor constaba sólo de cinco agujas como lo había imaginado Schilling (1833).

En esa época, Richtie, Alexandre, Wheatstone, Steinheil y Breguet construyeron telégrafos verdaderamente prácticos.

Morse realizó su célebre telégrafo de 1835 a 1837, pero sólo pudo hacerlo adoptar por los Estados Unidos en 1843. En Inglaterra y en Francia fué admitido más tarde, pues ya habían sido instalados allí los telégrafos de cuadrante de Wheatstone y de Foy-Bréguet, respectivamente.

El primer telégrafo de Wheatstone fué instalado en 1837 y fué, por consiguiente, el primer telégrafo de servicio público, pero su telégrafo de cuadrante es de 1840.

En 1855, Hughes inventó su conocido telégrafo impresor, que ofrecía sobre el telégrafo Morse la ventaja de ser tres veces más rápido. Este aparato fué adoptado por los países europeos mientras que en América las compañías se concertaron para no reemplazar su instalación Morse. En 1833, Baudot inventó otro telégrafo impresor que dió también buenos resultados.

En 1868, Edison inventó su telégrafo "duplex" y, en 1874, el "cuatruplex". En 1900, Mercadier hizo conocer su telégrafo "multiplex" de corrientes ondulatorias, cuyo principio ya se encontraba en estudios de Laborde (1860), de Lacour y de Elisha Gray (1877). Magunna, discípulo de Mercadier, aplicó el multiplex a los telégrafos impresores de Hughes y de Baudot.

El más sensacional progreso de los telégrafos fué sin duda la colocación del cable trasatlántico entre Irlanda y Terranova, de 1858 a 1866, pues producía repentinamente el acercamiento entre el viejo y el Nuevo Mundo. Entre los principales datos de la historia de la telegrafía submarina, recordaremos los siguientes:

En 1840, Wheatstone propuso la instalación de un cable submarino entre Inglaterra y Francia y estudió técnicamente la cuestión. En 1842, Morse realizó experimentos con cables submarinos en el puerto de Nueva York y afirmó la posibilidad de la unión telegráfica entre América y Europa. En 1850, Wollaston, J. Brett y Crampton colocaron un cable que unió Francia a Inglaterra hasta 1889. Después de este éxito, se colocaron numerosos cables submarinos. En 1854, nació en América el proyecto del cable submarino a Irlanda y el gobierno inglés patrocinó la empresa. En 1857, fracasó la tentativa de colocación del cable; al año siguiente, se colocó el cable, pero, después de un mes, la comunicación quedó interrumpida. El gobierno inglés nombró entonces una comisión de sabios compuesta por Kelvin, Wheatstone, Whitehouse, Whitworth, Fairbairn y Varley.

Kelvin inventó en esta ocasión su galvanómetro de espejo, que fué utilizado como detector de la corriente del cable submarino. En 1865, Kelvin y Varley colocaron un nuevo cable, que se rompió después de haberse instalado sus dos terceras partes.

En 1866, en fin, se colocó otro cable y se completó la colocación del anterior, de modo que quedaron dos líneas trasatlánticas en lugar de una.

2. *Radiotelegrafía* (véase Marconi). — Antes de encontrarse la solución de la telegrafía sin hilos por medio de las ondas hertzianas, se ha buscado la solución en diversas direcciones: Desains y Bourbouze quisieron emplear el agua de un río como conductor (1870); la Oficina Telegráfica de las Indias Inglesas realizó experimentos para emplear la Tierra como conductor; Preece obtuvo cierto éxito con la telegrafía por inducción.

Se puede principiar la historia de la radiotelegrafía con los experimentos de Hertz, de 1888. Estos experimentos provocaron interesantes estudios de parte de Oliver Lodge, Righi, Sarrasin y L. de la Rive, Blondlot, Lecher, Lebedeff, Bose, etc. Muchos pensaron en la aplicación de las ondas hertzianas a la telegrafía, pero Crookes fué uno de los primeros (1892) en emitir un proyecto concreto. Se imaginaron muchos dispositivos y se realizaron hasta comunicaciones con resultados prácticos; no puede decirse sin embargo que la radiotelegrafía haya sido definitivamente establecida sino en 1896, con los primeros experimentos concluyentes de Marconi.

Marconi no inventó, sin embargo, los elementos con que constituyó su aparato. Tesla había inventado las antenas verticales. Branly (1891) inventó el "cohesor", primer verdadero detector radiotelegráfico, basándose en estudios de Varley (1870) y de Calzecchi Onesti (1884) y suyos propios, sobre resistencia eléctrica de las limaduras metálicas. Popof instaló un puesto receptor completo, para denunciar a gran distancia las descargas atmosféricas. Righi, profesor de Marconi, había imaginado un oscilador muy superior al que empleaba Hertz. Marconi utilizó el oscilador de Righi, el cohesor de Branly perfeccionado por Lodge y por Bose, y el dispositivo general de Popof. Realizó experimentos felices, y, en 1895, comunicaba a tres kilómetros. Investigó y modificó constantemente los dispositivos; usó y abandonó los reflectores; usó ondas cortas y ondas largas; unió el oscilador con la Tierra y con un hilo terminado por una lámina suspendida en el aire. En 1896, comunicaba a 15 kilómetros y no temía los obstáculos (casas, árbo-

les, etc.). El gobierno inglés y especialmente Preece, físico e ingeniero jefe de Correos, ayudaron mucho a Marconi.

La radiotelegrafía fué perfeccionada luego por un sinnúmero de sabios y técnicos.

El cohesor de Branly ha sido sucesivamente reemplazado por el detector electrolítico de Ferrié (1900), por el magnético de Marconi (1902), por el detector de galenas de Pickard (1907), por las válvulas termoiónicas inventa das por Fleming y perfeccionadas por de Forest (1907).

3. *Pantelégrafo* (véase Caselli). — Al lado de la telegrafía de las señales deben recordarse los esfuerzos que se hicieron para obtener telegráficamente la reproducción de las imágenes.

En 1854, el Abate Caselli construyó un "pantelégrafo" eléctrico que reproducía con todo éxito dibujos o firmas por medio de "péndulos simpáticos" y este interesante invento fué adoptado por el gobierno francés pero abandonado poco después a causa de la indiferencia del público.

Elisha Gray, Ritchie (1901) y el Dr. Korn (1906) buscaron la solución del mismo problema. El "fototelégrafo" de Korn ya no empleaba los péndulos simpáticos como Caselli, sino la propiedad del selenio, descubierta por Knox (1837) Hittorf (1851 y May (1873), que consiste en aumentar de conductibilidad eléctrica bajo la influencia de la luz. Esta propiedad fué también aprovechada por Bell en su invento del "fotófono".

En 1921, Belin aplicó el sistema de Korn a la radiotelegrafía y logró reproducir en París, con toda claridad fotografías comunicadas de Nueva York.

4. *Teléfonos* (véase Bell). — Buscando muy lejos el origen del teléfono, o sea de cualquier aparato que aumenta el alcance de los sonidos, puede citarse la corneta acústica que Aristóteles inventó para Alejandro. Pero el primer aparato que reprodujera la voz por la trasmisión directa de su movimiento vibratorio fué "el teléfono de hilo" inventado por Hooke y, a partir de este invento, puede seguirse con más exactitud los progresos de la telefonía.

Aquí sólo citaremos algunas fechas principales:

En 1782, el monje Gauthery inventó los tubos acústicos que todavía se emplean para comunicaciones en un mismo edificio.

En 1837, Page descubrió la "música galvánica" que Wertheim explicó como pulsaciones del hierro.

En 1851, Farraz y, en 1852 Petrina, hicieron ensayos de trasmisión electromagnética de sonidos musicales.

En 1854, Froment construyó un vibrador eléctrico y, en el mismo año, Bourseul, un simple empleado de telégrafo, describió en la "Illustration" de París un proyecto de teléfono electromagnético que parece una descripción de un teléfono de Bell.

En 1859, Wheatstone encaminó perfectamente bien las investigaciones y, en 1861, Reiss, un maestro de escuela, construyó un aparato que trasmitía todos los sonidos menos la voz humana y lo llamó "teléfono". En 1865, Manzetti de Aosta se acercó mucho también a la solución. A esos nombres deben agregarse todavía los de Meucci, Yates, Weide, Cecil, Wright, Jaime Davy, Varley y Lacour, antes de llegar a Bell.

Bell, en fin, inventó el teléfono en 1876, pero sólo le ganó la prioridad a Elisha Gray por dos horas, pues los dos sabios hicieron su pedido de patente el mismo día. De allí nació una larga discusión a la que no logró poner fin la Alta Corte de los Estados Unidos, que falló a favor de Bell, en 1888.

Bell y Gray resolvieron, pues, simultáneamente, el problema de la telefonía, pero lo que completó esta solución fué el invento del micrófono por Hughes, en 1877.

Estos aparatos, considerablemente perfeccionados, permiten ahora establecer comunicaciones telefónicas a cualquier distancia.

Antes de dejar la historia del teléfono, deben recordarse los experimentos de Mercadier, que demostraron que si se reemplaza la membrana metálica del teléfono por una caja de cartón o si se deja el electroimán solo y desprovisto de su núcleo de hierro dulce, se oye todavía. Por consiguiente,

la sencilla explicación clásica del funcionamiento del teléfono es fundamentalmente errónea.

5. *Radiotelefonía.* (Ver Marconi). — Si en la historia de la radiotelegrafía se recuerdan los ensayos que se hicieron para obtenerla por otros medios que las ondas hertzianas, es justo hacer lo mismo con la radiotelefonía. Entre esos ensayos se destaca el invento del "fotótono de Bell" (1880), que trasmite los sonidos por medio de las ondas luminosas, gracias a la propiedad del selenio a la cual nos hemos referido antes. (Ver *Pantelégrafo*). Este aparato fué perfeccionado por Mercadier. Pero la radiotelefonía actual deriva directamente de la radiotelegrafía y su historia propia empieza con el arco cantante de Duddel, del cual el método de Poulsen es una variación, y culmina con el invento de la válvula termoiónica de de Forest (1910).

6. *Motor eléctrico.* (Véase Gramme). — Dal Negro imaginó un motor eléctrico en 1832 y Pixii construyó, en el mismo año, un verdadero motor con un imán permanente, que se hacía girar por medio de una manija. En 1833, Saxton construyó un motor parecido, pero de imán permanente fijo y electroimán movible.

En 1834, H. M. Jacobi, que desconocía los trabajos de Dal Negro, y de Pixii, imaginó también un motor eléctrico y, en 1839, hizo marchar en el Neva un barco accionado por dicho motor. En 1835, Clarke construyó un motor parecido al de Saxton, pero colocó verticalmente el imán permanente e hizo girar el electroimán alrededor de un eje horizontal; lo proveyó además del conmutador de su invento.

Después de Dal Negro, Pixii, Saxton y Clarke, deben citarse los nombres de Ritchie, Watkins, Ettingshausen, Poggendorff, Petrina, Wagner, Froment, etc., como perfeccionadores del motor eléctrico.

En 1841, Wheatstone y Cook agruparon las bobinas del inducido para tener una corriente continua y reemplazaron el imán permanente por un electroimán.

En 1844, Palmieri construyó una máquina con corriente inducida por la tierra.

En 1848, J. Brett imaginó la autoexcitación de la máquina.

En 1849, Nollet (no el abate Nollet, como dicen algunos autores (1), sino Nollet, profesor de la Escuela Militar de Bruselas) y Van Malderen construyeron una máquina de corriente alterna, tipo Clarke, la más perfecta que se haya conocido hasta aquella época, que fué empleada hasta 1890.

En 1859, Siemens y Halske imaginaron el arrollamiento longitudinal del hilo en el cilindro de hierro dulce. En 1866, Siemens utilizó una observación de Faraday demostrando que el magnetismo remanente del hierro dulce basta a la autoexcitación e imaginó el nombre de "máquina dinamoeléctrica".

En 1864, Pacinotti inventó una máquina reversible sin conmutador en que evitaba las fluctuaciones de corriente debidas al movimiento de los polos, por un anillo alrededor del cual se arrollaba el hilo.

Fué Gramme quien consiguió impulsar el mayor progreso a este importante invento.

De 1867 a 1874, Gramme aportó varios perfeccionamientos a los motores eléctricos y en esta última fecha inventó la conocida máquina que lleva su nombre y que puede ser considerada como el primer dínamo. Una de las características de esta máquina es el célebre "anillo de Gramme", que este sabio inventó independientemente de Pacinotti y que tuvo sobre todo el mérito de aplicar a la industria, mientras que el sabio italiano se limitó a considerarlo como un aparato de laboratorio.

7. *Reloj eléctrico.* — Este aparato fué inventado por Steinheil en Baviera, en 1839, y lo volvió a inventar Wheatstone en Inglaterra a los pocos meses (1840). En 1867, Froment construyó un reloj eléctrico de maravillosa sencillez.

---

(1) Bordeaux. Hist. des Sciences, p. 81.

CAPITULO V

ELECTRICIDAD ATMOSFERICA Y PARARRAYO
(Véase Franklin)

Los antiguos se limitaban a atribuir a manifestaciones divinas todos los fenómenos de electricidad atmosférica y es casi imposible admitir la afirmación, adelantada por algunos autores, de que conocieron, aun empíricamente, la propiedad de las puntas para protegerse del rayo.

Descartes emitió la primera hipótesis científica acerca de la causa del relámpago y del trueno, considerándolos provocados por la caída y el choque de las nubes y por la condensación brusca del aire.

Boerhaave emitió la hipótesis — que fué generalmente admitida — de que pedazos de hielo del centro de las nubes reflejan el calor, como verdaderos espejos cóncavos, y producen así el incendio de los vapores sulfurosos y grasos de la atmósfera.

El origen de la explicación eléctrica del rayo puede encontrarse en el siglo XVII con Guericke, Boyle y Newton y más especialmente en el XVIII con Wall (1708), Hawksbee (1809), Desaguliers, Duhamel, Gray (1735), Nollet (1743) y Winkler (1746).

En 1750, la Academia de Burdeos premió un trabajo de Barberet sobre la electricidad atmosférica y estudiaba un trabajo de de Romas sobre la misma cuestión.

Hemos visto (véase *Poder de las puntas*) que Jallabert (1747) y Franklin descubrieron el poder de las puntas.

En 1750, Franklin escribía como proyecto de experimento, una verdadera descripción del pararrayo, no como aparato defensor, sino como experimento de comprobación de la similitud entre la electricidad de frotamiento y la electricidad atmosférica.

Dalibard realizó el proyecto de Franklin el 10 de mayo de 1752, y fué así, el primero en someter la electricidad

atmosférica a la experiencia. Delor lo realizó ocho días más tarde y Buffon un día después de Delor.

Franklin captó electricidad atmosférica por primera vez en junio de 1752, con una punta de acero colocada en una cometa y Deromas, que imaginó independientemente el mismo experimento, lo realizó con mayor éxito en mayo de 1753.

En junio de 1752, Lemonnier demostró la presencia de electricidad atmosférica aún en tiempo sereno.

Watson, Canton y Bevis en Inglaterra; Zanotti, Verrat, Marin y el Padre Beccaria en Italia; Musschenbroek y van Swinden en Holanda; Winkler y Bose en Alemania; Richmann y Lomonozow en Rusia, repitieron y ampliaron los experimentos de Franklin y de los físicos franceses.

Richmann murió fulminado por una chispa durante un experimento (1753).

En Setiembre de 1753, Franklin propuso emplear la punta de acero para proteger de los rayos a los edificios; propuso, pues, el "pararrayo" y este invento se impuso a pesar de la oposición de algunos sabios, entre los cuales se encontraba Nollet.

Una interesante discusión fué suscitada poco después: se trataba de elegir entre el pararrayo de punta, o sea el "ofensivo" porque atrae el rayo, y el pararrayo esférico, simplemente defensivo. Benjamín Wilson defendió a este último, pero en general se adaptó el pararrayo de punta.

Horacio de Saussure (1740-1799) estudió seriamente todo lo que se refiere a la electricidad atmosférica, que, a partir de sus trabajos, puede ser considerada como un capítulo de la física. Para aumentar la sensibilidad del electrómetro, en esos experimentos Saussure le agregó, en 1875, una punta de 80 centímetros de largo.

Canton también colaboró al establecimiento de este nuevo estudio y se recuerda su observación de que la mayor parte de las nubes tienen carga negativa, pero que las nubes positivas provocan descargas más violentas.

Debe citarse aquí el experimento realizado por Lavoisier y Laplace, en 1781, al cual asistió Volta (que lo había por otra parte proyectado desde 1778) y que demuestra

la formación de electricidad por vaporización. Se creyó encontrar allí un nuevo origen de electricidad, cuando no se trata más que de un caso especial de frotamiento. Desde el punto de vista de la electricidad atmosférica es más interesante, pues podría explicar el origen de ésta por la evaporación del agua de mar, pero esta no es sino una de las treinta y cinco hipótesis posibles que se emiten acerca del origen de la electricidad atmosférica.

En 1786, Bennet, fué el primero en proponer el método de la llama para descargar las puntas de los electrómetros. Volta adoptó y perfeccionó este procedimiento de Bennet y explicó que la descarga se hace por las partículas de humo que se escapan de la llama. Creyó poder afirmar que grandes fuegos encendidos en tiempo de tormenta podrían disminuir así la diferencia de potencial entre la Tierra y las nubes y evitar el rayo; llegó aun a suponer que era este el origen de los fuegos encendidos por los antiguos en sus ceremonias religiosas.

Kelvin reemplazó la llama por un "colector de agua" y observó con este electrómetro que el potencial de la electricidad atmosférica aumenta con la altura.

CUADROS SINCRONICOS (1)

ANTIGÜEDAD

640—a. J. C. — n. TALES.

617—n. JENOFANES.
610—n. ANAXIMANDRO.
600—TALES observa la atracción eléctrica, la atracción y la repulsión magnéticas; propaga los conocimientos de los sacerdotes egipcios; funda la geometría, tiene conocimiento de meteorología; considera el agua como elemento fundamental.

580—ANAXIMANDRO propaga el gnomón; según él, el elemento es el espacio infinito y el fuego transforma la tierra en agua, el agua en aire.
570—n. ANAXIMENES.
569—n. PITAGORAS.

550—m. TALES.
557—m. ANAXIMANDRO.
—JENOFANES crea la Escuela Eleática contraria al estudio de la materia.
540—ANAXIMENES: "todo viene del aire"; PLINIO le atribuye el invento del cuadrante solar.

520—m. JENOFANES.
—PITAGORAS: estudio matemático de las vibraciones acústicas; manómetro, intervalos; teoría errónea de la visión; esfericidad de la Tierra; tal vez su movimiento giratorio y atracción universal.

---

n. — nace.
m. — muere.
(1) Estos cuadros no pretenden ser un resumen de Historia de Física; sólo contienen puntos de referencia acerca de esta historia.

(¿?)—n. FILOLAO.
500—n. LEUCIPO. — n. HERACLITO. — n. ANAXAGORAS.
499—m. ANAXIMENES.
494—n. DEMOCRITO.
490—m. PITAGORAS.

—FILOLAO: la Tierra gira, precursor de COPERNICO.

—HERACLITO: elemento fundamental, el fuego.

—LEUCIPO y DEMOCRITO: fundan la teoría atomistica, que extienden a la luz. — DEMOCRITO: la materia y la energía son una sola cosa; los rayos visuales provienen de los objetos.

444—n. EMPEDOCLES.

—ANAXAGORAS: partidario de los átomos; el aire es materia; el Sol es grande, ¡más grande que el Peloponeso!

440—m. FILOLAO. — m. HERACLITO. — n. ARQUITAS.
429—n. PLATON.

—EMPEDOCLES: elementos: fuego, aire, agua y tierra; la materia es porosa; los poros son canales de salida de las fuerzas ocultas: calor, luz, magnetismo, etc.; el aire es material.

428—m. ANAXAGORAS.

408—n. EUDOXIO.
404—m. DEMOCRITO.

—ARQUITAS: inventa la polea, la rosca y una paloma mecánica (390).

—PLATON abre su "Academia". Teoría de la visión conciliadora entre las de PITAGORAS y de DEMOCRITO; ley de la reflexión de la luz; la atracción eléctrica es una respiración del ámbar; el magnetismo es un espíritu; partidario del experimento.

384—n. ARISTOTELES.
380—m. ARQUITAS.
371—n. TEOFRASTO.

—EUDOXIO DE CNIDE: relaciones numéricas entre los sonidos: el año tiene 365 1|4 días.

—ARISTOTELES: crea las bibliotecas; inventa los diccionarios: imagina las ilustraciones; clasifica las ciencias dividiendo la filosofía; respeta la experiencia; estudia el equilibrio de la palanca, la composición de fuerzas perpendiculares; establece una teoría errónea del movimiento y de la caída de los cuerpos; cree en el peso del aire; la luz necesita un medio para propagarse y su propagación es instantánea; el calor es un elemento oculto en movimiento; el aire propaga el sonido; dualismo de la materia y de la energía; cinco elementos: dos graves, la tierra y el agua, dos ligeros, el aire y el fuego, uno eterno, el éter; conoce la magnetización temporaria del hierro dulce.

355—m. EUDOXIO.
347—m. PLATON.
340—n. EPICURO.

322—m. ARISTOTELES.
315—n. EUCLIDES
—TEOFRASTO, continuador de ARISTOTELES; descubre la propiedad eléctrica del ámbar, en un mineral que no se ha podido determinar.
310—n. ARISTARCO.
300—n. CLEANTO.
—EPICURO: amplía la teoría atomística de DEMOCRITO; "nada nace de la nada"; el vacío existe; diferencia los cuerpos simples de los compuestos; el Universo es infinito en extensión y número de partes; los átomos tienen sólo tres cualidades: el peso, la figura y la extensión.
287—n. ARQUIMEDES.
286—m. TEOFRASTO.
—ARISTARCO: la Tierra gira alrededor del Sol, fijo; inventa un cuadrante solar.
276—n. ERATOSTENES.
270—m. EPICURO.
—EUCLIDES: en el Museo de Alejandría, estudia la refracción; la velocidad de caída es mayor en un medio raro; estudia la acústica según PITAGORAS.
264—m. ARISTARCO.
255—m. EUCLIDES.
—ARQUIMEDES: fundador de la Física; espejos ardientes; principios fundamentales de la estática; determinación del centro de gravedad de las figuras geométricas; teoría del equilibrio de las palancas; principio de Arquímedes y teoría de la estabilidad de los cuerpos flotantes; noción clara del peso específico; inventa el areómetro, el tornillo de agua y, tal vez, la balanza hidrostática.
232—m. CLEANTO.
—ERATOSTENES: astrónomo y fundador de la Geodesia; mide el meridiano: 39.879.000 mts.
212—m. ARQUIMEDES.

194—m. ERATOSTENES.
180—n. CTESIBIO (?).

160—n. HIPARCO.
155—n. HERON (?).
—CTESIBIO: inventa un órgano hidráulico, la bomba aspirante y repelente, un fusil de viento, la clepsidra.

—FILON de Bizancio, inventa el termoscopio. — HIPARCO funda la Astronomía Matemática.
133—n. POSIDONIO.
—HERON: inventa la fuente de Herón, la eolipila, reconoce la dilatación del aire; estudia el centro de gravedad; enuncia el principio de las velocidades virtuales; el rayo reflejado recorre el camino más corto posible.
124—m. HIPARCO.

—POSIDONIO: estudia la refracción.
95—n. LUCRECIO.

—LUCRECIO: reproduce las ideas de DEMOCRITO y de EPICURO.

—CLEOMEDIO: mejor estudio antiguo de la refracción; teoría de la visión igual a la de PITAGORAS.
52—m. LUCRECIO.
49—m. POSIDONIO.
—SOSIGENES reforma el Calendario Romano.

ERA CRISTIANA

2—n. SENECA.

23—n. PLINIO.
—SENECA: el arco iris se debe a la descomposición de la luz al pasar por el agua; las gotas de agua, los globos de vidrio, las lentes, aumentan los objetos; la evapcración produce enfriamiento.

50—n. PLUTARCO.
65—m.. SENECA.
—PLINIO: publica su "Historia Natural"; los rayos solares no ceden calor al agua que atraviesan; la luz se propaga más ligero que el sonido; la sal del agua de mar influye sobre su conductibilidad.
79—m. PLINIO.
—PLUTARCO, en sus "Obras Morales" hace ciencia e historia de ciencia.

120—m. PLUTARCO.
128—PTOLEMEO realiza su obra de 128 a 168. Su sistema astronómico es el de la Antigüedad y permanecerá hasta COPERNICO. Su óptica se mantendrá intacta durante 14 siglos. Tiene ideas exactas sobre la refracción y determina la refracción de la luz al pasar del aire al agua, con bastante exactitud. Admite la teoría de la visión de Pitágoras. Da la teoría de los espejos planos y cóncavos.

340—n. PAPO.
360—PAPO: autcr del teorema de Guldin. En su obra se habla por primera vez de las cinco máquinas simples.

EDAD MEDIA

529—Justiniano cierra las Academias.

640—Omar incendia la biblioteca de Alejandría.
—FILOPON de Alejandría: teoría de la luz parecida a la de DESCARTES.

775—ABU GIAFAR protege las ciencias.
780—n. GEBER.
—GEBER: el gran químico árabe, partidario de la experiencia, negó el atomismo.

840—m. GEBER. — n. RASES.

923—m. RASES.

980—n. AL HAZEN. n. AVICENA.
990—GERBERT: inventa un órgano a vapor.

1020—AL HAZEN: reflexión de los espejos, enmiendas al estudio de la refracción de PTOLEMEO, teoría de la visión y estudio del ojo.
1021—n. IBN GABIROL.
1037—m. AVICENA.
1038—m. AL HAZEN.

1070—m. IBN GABIROL.

1114—n. GERARDO DE CREMONA.
1120—n. AL KHAZINI.
—AL KHAZINI: los cuerpos pierden peso al alejarse de la Tierra. La densidad del agua varía ccn su temperatura.

1187—m. GERARDO DE CREMONA.
1190—HOLYWOOD. Primera obra europea de astronomía desde el fin del Imperio. PROVINS conoce las brújulas.
1200—Fundación de la Universidad de París.
1205—n. ALBERTO EL GRANDE.
1214—n. ROGERIO BACON.

1220—Fundación de la Universidad de Oxford.
1225—n. SANTO TOMAS DE AQUINO.
1235—n. R. LULIO.
—ROGERIO BACON, partidario de la experiencia; reclama la reforma del calendario; foco espejos esféricos y cóncavos; prevé la aviación, el anteojo.
1250—n. P. ABANO.
1270—VITELLO estudia la refracción.
1274—m. TOMAS DE AQUINO.
1280—m. ALBERTO EL GRANDE.
1294—m. ROGERIO BACON.
1302—GIOJA coloca la aguja de la brújula en un perno.
1315—m. R. LULIO. — m. P. ABANO.
1400—n. GUTENBERG.

SIGLO XV

1401—n. NICOLAS DE CUSA.
1420—GUTENBERG inventa la imprenta.
1424—n. PURBACH.
1436—n. REGIOMONTANO.
1452—n. LEONARDO DE VINCI.
1460—m. PURBACH.
1464—m. NICOLAS DE CUSA.
1468—m. GUTENBERG.
-LEONARDO DE VINCI: observa la capilaridad y la difracción; teoría de la visión; pesantez del aire; frotamiento; inventa el dinamómetro y el higrómetro; estudia el centro de gravedad y lo establece en la pirámide; vibraciones de las placas; ondas líquidas; niega el movimiento perpetuo; precursor de la aviación.
1473—n. COPERNICO.
1476—m. REGIOMONTANO.
1492—COLON observa la declinación de la brújula.
1494—n. MOROLICO.

SIGLO XVI

1501—n. CARDANO.
1502—FERRARI señala el espejismo.
1510—n. LILIO.
1514—n. RHETICO.
1515—n. RAMO.
1519—m. VINCI.

1530—n. BENEDETTI.
1531—n. MOLEZIO.
1532—MOROLICO escribe la mejor óptica desde AL HAZEN.
1536—TARTAGLIA: movimiento de los proyectiles.
1537—n. CLAVIER. — n. DANTI.
1538—n. PORTA.
1540—n. GILBERT. — n. ROTHMANN.
1543—COPERNICO: "Revolución de los cuerpos celestes". — m. COPERNICO.
1544—HARTMANN descubre la inclinación magnética. — RAMO ataca la ciencia peripatética.
1548—n. STEVIN.
1550—MONARDES descubre la fluorescencia. — CARDANO: obra estática e hidrostática.
1553—PORTA publica la "Magia".
1561—n. FRANCISCO BACON. — SANBECK: teoría de balística.
1564—n. GALILEO.
1569—CARDANO: resistencia del aire en los proyectiles.
1571—n. KEPLERO. — n. BRANCA.
1572—n. DREBBEL.
1575—m. MOROLICO.
1576—m. RHETICO. — m. CARDANO. — m. LILIO.
1577—n. HELMONT.
1580—m. MOLEZIO. — n. VERNIER.
1582—Se implanta el nuevo calendario.
1585—BENEDETTI: "Especulaciones diversas".
1586—m. DANTI. — STEVIN: Hidrostática y dinámica.
1588—n. MERSENNE. — TYCHO BRAHE: desviación caída de los cuerpos.
1589—GALILEO establece el método experimental.
1590—m. BENEDETTI.
1591—n. ŜNELL.
1592—n. GASSENDI.
1595—n. MARCI.
1596—n. DESCARTES.
1597—GALILEO: compás de proporciones.
1600—GILBERT: magnetismo terrestre.

SIGLO XVII

1601—PORTA inventa su máquina de vapor.
1602—n. ROBERVAL. — n. GUERICKE. — GALILEO establece las leyes de caídas de los cuerpos.

1603—m. GILBERT.
1604—(¿?) GALILEO o VAN HELMONT, inventa el termómetro.
1608—n. BORELLI. — n. TORRICELLI. — LIPPERSHEY inventa el anteojo astronómico.
1609—KEPLERO establece las leyes del movimiento de los planetas.
1610—m. ROTHMANN.
1611—KEPLERO publica su obra de óptica y fotometría.
1612—m. CLAVIO. — JANSSEN inventa el microscopio.
1615—m. PORTA. — CAUSS inventa la primera máquina de vapor, verdadera.
1616—n. WALLIS. — ZUCCHI inventa una especie de telescopio (?).
1617—GALILEO inventa el anteojo binocular.
1618—n. GRIMALDI.
1620—m. STEVIN. — n. MARIOTTE. — BACON: Experiencias de compresibilidad de los líquidos.
1623—n. PASCAL.
1624—n. MECIO. — DREBBEL inventa un barco de vapor (?). — MORIN inventa el micrómetro.
1625—n. COLLINS.
1626—m. F. BACON. — m. SNELL. — n. BOYLE. — SNELLIUS descubre la ley de la refracción.
1627—DESCARTES descubre la ley de la refracción.
1629—n. HUYGHENS. — BRANCA inventa la primera turbina de vapor.
1630—m. KEPLERO. — m. CAUSS.
1631—VERNIER describe el "nonio". — DESCARTES estudia la presión atmosférica antes que TORRICELLI.
1632—n. WREN. — GALILEO defiende el sistema de COPERNICO.
1633—GALILEO es condenado a abjurar de sus ideas. — DESCARTES inicia sus estudios de física.
1634—m. DREBBEL.
1635—n. HOOKE. — GULDIN: reglas del centro de gravedad.
1636—MERSENNE: leyes de vibración de las cuerdas; el eco.
1637—m. VERNIER. — DESCARTES: "Discurso del método"; teoría del arco iris; ley de la refracción.
1638—n. J. GREGORY. — GALILEO publica su obra mecánica. — MARCI, BOLIANI y GALILEO estudian el choque.
1640—m. BRANCA.
1642—m. GALILEO. — n. NEWTON (1).
1643—TORRICELLI inventa el barómetro; descubre la presión atmosférica.

(1) GALILEO murió en 1642 por el calendario moderno; NEWTON nació en 1642 del calendario antiguo, el 25 de diciembre, que corresponde al 5 de enero de 1643, del calendario moderno.

1644—m. HELMONT. — n. ROEMER. — DESCARTES: ley del cheque.
1645—GASSENDI observa la constancia del plano de rotación.
1646—n. LEIBNIZ. — ROBERVAL y DESCARTES estudian el péndulo compuesto antes que HUYGHENS.
1647—m. TORRICELLI. — n. PAPIN. — PASCAL demuestra la existencia de la presión atmosférica. — MERSENNE publica sus "Nuevas Observaciones".
1648—m. MERSENNE. — MARCI DE KRONLAND estudia la dispersión antes que NEWTON.
1650—m. DESCARTES. — n. SAVERY. — GUERICKE inventa la máquina neumática.
1653—PASCAL: principio fundamental de hidrostática; prensa hidráulica.
1654—HOOKE inventa el barómetro de cuadrante.
1655—m. GASSENDI.
1656—HUYGHENS aplica el péndulo a los relojes.
1657—Se abre la Academia del Cimento.
1660—BOYLE descubre la "ley de Boyle-Mariotte".
1661—n. D. GREGORY. — J. GREGORY inventa el telescopio. — GUERICKE el manómetro.
1662—m. PASCAL. — Se funda la Sociedad Real de Londres. — VOSSIO publica la ley de SNELLIUS.
1663—m. GRIMALDI. — n. AMONTONS. — WORCESTER inventa su máquina de vapor.
1664—HOOKE y Academia del Cimento: punto de fusión del hielo es fijo.
1665—GRIMALDI (obra póstuma) estudia la difracción, observa las interferencias, defiende las ondulaciones.
1666—n. PARENTE. — NEWTON: atracción universal. — VOSS observa la depresión por capilaridad.
1667—m. MARCI. — n. J. BERNOULLI. — Se clausura la Academia del Cimento. — BORELLI: leyes de la capilaridad. — Academia del Cimento: compresión de líquidos.
1668—n. BOERHAAVE. — WALLIS, HUYGHENS y WREN: teoría de los choques.
1670—NEWTON: dispersión de la luz; completa la teoría del arco iris.
1672—HOOKE estudia los anillos coloreados y defiende las ondulaciones.
1673—HUYGHENS: péndulo compuesto. — NEWTON: anillos coloreados.
1674—HOOKE: punto de fusión del hielo.
1675—m. ROBERVAL y J. GREGORY. — n. GRAHAM. — PICARD observa fulgores del mercurio del barómetro.
1676—MARIOTTE enuncia la "ley de Boyle-Mariotte" (véase 1660). — ROEMER determina la velocidad de la luz.
1677—NOBLE y PIGOTT: armónicos.

1678—n. MAIRAN.
1679—m. BORELLI. — NEWTON: desviación de la caída de los cuerpos.
1681—PAPIN inventa la "marmita" y la válvula de seguridad.
1683—m. COLLINS. — n. REAUMUR. — LEIBNIZ: "Discurso de Metafísica". — HALLEY: distancias focales de espejos esféricos y lentes.
1684—m. MARIOTTE. — HOOKE: el punto de ebullición del agua es fijo.
1685—n. TAYLOR. — STURM inventa un termómetro diferencial.
1686—m. GUERICKE. — HALLEY: fórmula altura por método barométrico.
1687—NEWTON: "Principios matemáticos" con su mecánica.
1688—n. GRAVESANDE.
1689—PAPIN: ventilador centrífugo.
1690—n. FAHRENHEIT. — HUYGHENS: "Tratado de la luz" con su teoría de las ondulaciones, la doble refracción y la polarización.
1691—m. BOYLE.
1692—n. MUSSCHENBROEK y BRADLEY.
1693—n. HARRISON.
1694—RINALDINI: punto de ebullición del agua.
1695—m. HUYGHENS. — D. GREGORY: 1ª idea de lentes acromáticas. — AMONTONS descubre la dilatación normal del aire.
1698—n. DUFAY, BOUGUER y MAUPERTUIS. — Dr. WALL compara la chispa eléctrica al rayo. — HUYGHENS: comparación fotométrica.
1699—AMONTONS estudia el frotamiento.
1700—n. GRAY (?) y NOLLET. — HALLEY: 1er. mapa de declinaciones. — NEWTON: sextante de reflexión.

SIGLO XVIII

1701—n. CELSIO. — SAUVEUR: estudio de acústica. — NEWTON: 1er. pirómetro.
1702—m. HOOKE. — SAVERY inventa su "bomba de vapor". — AMONTONS: dilatación de los gases y termómetro de aire.
1703—m. WALLIS. — Holandeses descubren la piroelectricidad.
1704—NEWTON publica "Optica" y da su teoría de fluxiones.
1705—m. AMONTONS. — NEWCOMEN inventa su máquina de vapor. — DERHAM: influencia del viento en velocidad del sonido.
1706—n. DOLLOND. — n. FRANKLIN. — n. MARQUESA DU CHATELET. — STANCARI: principio de la rueda de SAVART (1830).
1707—n. EULER.
1709—HAWKSBEE realiza sus experimentos de electricidad.
1710—m. ROEMER. — m. D. GREGORY. — n. BOSE.

1711—n. LOMONOSOW.
1712—TAYLOR observa que el nivel del agua elevada por capilaridad es una hipérbola.
1713—FAHRENHEIT inventa sus célebres termómetros. — TAYLOR: estudio de las cuerdas vibrantes.
1714—m. PAPIN.
1715—m. SAVERY. — n. LEIDENFROST.
1716—m. LEIBNITZ. — m. PARENT. — n. BECCARIA. — HALLEY: primer estudio serio de auroras boreales.
1717—n. D'ALEMBERT.
1718—n. CANTON. — JURIN enuncia la ley de capilaridad ya conocida por BORELLI.

1723—m. WREN.
1724—n. LESAGE. — n. AEPINUS. — n. MICHELL. — FAHRENHEIT observa la sobrefusión. — BOUGUER: fotómetro.,
1725—HARRISON inventa el péndulo compensador de parrilla.
1726—GRAHAM inventa el péndulo compensador de mercurio.
1727—FAHRENHEIT inventa su areómetro. — BRADLEY descubre la aberración de la luz. — HERMAN: resistencia del aire al movimiento del péndulo.
1728—n. LAMBERT. — n. BLACK.
1729—GRAY descubre la conductibilidad y clasifica los cuerpos según ella.

1731—m. TAYLOR. — n. CAVENDISH. — HADLEY construye el sextante de reflexión.
1732—n. LALANDE. — n. WILKE. — n. GAUTHEY.
1733—n. PRIESTLEY. — n. BORDA. — DUFAY: sus memorias sobre electricidad. — BOSE: su máquina electrostática.
1734—MUSSCHENBROEK observa el estado esferoidal.
1735—ACADEMIA DE CIENCIAS DE PARIS: determinación de la velocidad del sonido.
1736—n. WATT. — n. COULOMB. — n. LAGRANGE.
1737—n. GALVANI.
1738—m. G. HERSCHEL. — m. BOERHAAVE. — DANIEL BERNOULLI: teoría de los tubos sonoros. Su "Hidrodinámica" base de la hidrodinámica moderna. — LIEBERKUHN: microscopio solar. — EULER publica "Fuego y Propagación". — BOSE: poder de las puntas.
1739—n. INGENHOUSZ. — n. BEZAUT. — n. BOSSUT. — REAUMUR establece su escala termométrica. — D. BERNOULLI: resistencia del aire en el péndulo.
1739—m. DUFAY. — ELLICOT explica la "simpatía" de los péndulos. — EULER: concepto de fuerza.

1740—m. FAHRENHEIT. — BIANCONI demuestra la influencia de la temperatura sobre velocidad del sonido.

1742—m. GRAVESANDE. — n. SCHEELE. — CELSIUS: su escala termométrica. — HANSEN: máquina electrostática.

1743—n. LAVOISIER. — CLAIRAUT: teoría de la capilaridad. — D'ALEMBERT: "Dinámica". — NOLLET: propagación del sonido en los líquidos.

1744—m. CELSIUS. — MAUPERTUIS: "principio de la menor acción". — GORDON inicia el estudio de la electricidad de corrientes de agua. — SORGE: "tercer sonido".

1745—n. VOLTA. — n. ATWOOD. — VON KLEIST y MUSSCHENBROEK inventan la botella de Leiden.

1746—n. MONGE. — EULER: "Teoría nueva de la luz". Estudia el choque. — WILSON: peine colector en la máquina eléctrica. — WINKLER: carga residual.

1747—FRANKLIN da la primera explicación racional de la botella de Leiden; emite su teoría eléctrica. — JALLABERT: poder de las puntas. — NOLLET construye su electrómetro. — RICHMANN: ley de las mezclas.

1748—m. J. BERNOULLI. — n. BLAGDEN. — NOLLET descubre la ósmosis. — FRANKLIN proyecta el pararrayo. — D'ALEMBERT: "Memoria cuerdas vibrantes".

1749—m. MARQUESA DU CHATELET. — n. LAPLACE. — n. CRAWFORD. — FRANKLIN observa la "electricidad" por evaporación". — EULER: teoría de la cuerda vibrante.

1750—n. CARMINATI. — BOSE: experimento de la "Beatificación". — ADAMS: máquina electrostática.

1751—m. GRAHAM. — n. PREVOST. — FRANKLIN publica las cartas a COLLINSON. — EULER aclara el concepto de trabajo.

1752—n.FABBRONI. — DALIBARD realiza el experimento de FRANKLIN. — FRANKLIN: experimento de la cometa. — SEGNER: tensión superficial.

1753—n. RUMFORD. — n. L. CARNOT. — RICHMANN muerto por una chispa. — SULZER y MUSSCHENBROEK dudan de la exactitud de la ley de Boyle-Mariotte. Una explicación de un telégrafo eléctrico en la "Revista Escocesa".

1754—n. MURDOCH. — TARTINI: "tercer sonido".

1755—n. PRONY. — PLANTA: primera máquina electrostática de disco.

1756—n. CHLADNI. — n. CHAPTAL. — FRANKLIN propone un telégrafo eléctrico. — AEPINUS estudia la piroelectricidad.

1757—m. REAUMUR. — AEPINUS descubre la piroelectricidad. — BECCARIA cree en la compresibilidad de los líquidos.

1758—m. BOUGUER. — DOLLOND inventa la lente acromática. — WILKE prevé la polarización del dieléctrico.

1759—m. MAUPERTIUS. — ZIEGLER: primera determinación de la tensión del vapor saturante. — CANTON: pérdida del poder del imán por el calor; piroelectricidad. — LAGRANGE: vibración de las cuerdas.

1760—m. GRAY (?). — n. GADOLIN. — BOUGUER: "Gradación de la luz" (obra póstuma) con su método fotométrico. — FRANKLIN: pararrayo. — LAMBERT: fotometría. — CIGNA: explica el frío por evaporación . — LAMBERT: leyes de fotometría.

1771—m. MUSSCHENBROEK. — m. DOLLOND. — M. BOSE. — n. BRUGNATELLI. — CANTON demuestra la compresibilidad de los líquidos. — EULER: resistencia del aire en el péndulo.

1762—m. BRADLEY. — BLACK descubre el calor latente. — WILKE inventa el electróforo. — CANTON perfecciona la máquina eléctrica. — BERGMANN: piroelectricidad.

1763—n. PRIEUR. — BLACK descubre el calor específico. — WILSON estudia la piroelectricidad.

1764—n. LE BAILLIF. — INGENHOUSZ inventa la máquina llamada de RAMSDEN (1768).

1765—m. LOMONOSOW. — n. NIEPCE. — EULER: teoría del eco y otros trabajos de acústica. — CANTON: piroelectricidad.

1766—n. LESLIE. — n. DALTON. — n. WOLLASTON. — n. PERKINS. — n. HOPE.

1768—n. FOURIER. — n. NICOL. — RAMSDEN inventa su máquina electrostática. — WILKE estudia la piroelectricidad.

1769—n. HUMBOLDT. — EULER: corrección de temperatura en la fórmula higrométrica de HALLEY.

1770—m. NOLLET. — n. C. G. DE LA RIVE.

1771—m. MAIRAN. — D'ALEMBERT: desviación en la caída de los cuerpos.

1772—m. CANTON. — n. BACELLI. — n. MUNCKE. — HENLEY: electrómetro de cuadrante. — DELUC: influencia del aire sobre el punto de ebullición. — PRIESTLEY: aire disuelto en agua. — WILKE: "calor específico". — WALSH: descubre el órgano eléctrico del pez torpedo.

1773—n. YOUNG. — EULER estudia el sincronismo de los péndulos.

1774—n. BIOT. — WATT inventa su máquina de vapor. — LESAGE inventa su telégrafo electrostático.

1775—n. MALUS. — n. AMPERE. — n. PEPYS. — H. DE SAUSSURE inventa su higrómetro.

1776—m. HARRISON. — n. BARLOW. — n. BELLANI. — n. CHRISTIAN. — DELUC: dilatación irregular del agua.

1777—m. LAMBERT. — n. OERSTED. — n. GAUSS. — n. CAGNIARD. — LAMBERT: leyes de iluminación y su aplicación a los

rayos caloríficos. — SCHEELE: "calor radiante". — HIGGINS: llama sonora.

1778—n. — DAVY. — n. GAY-LUSSAC. — BRUGMANNS descubre el diamagnetismo del bismuto. — EULER: teoría de las ondas. — HAUY: estudios de piroelectricidad.

1779—n. SCHWEIGGER. — n. BERARD. — ACHARD estudia la relación entre la conductibilidad eléctrica y calorífica. — LAPLACE y EULER: teoría de las ondas. — DU BUAT: derrame de los líquidos.

1780—GALVANI: experimento de la rana. — LAVOISIER y LAPLACE: "Memoria sobre el calor". — SCHEELE: acción química de los rayos violados. — ARGAND: su lámpara. — VAN MARUM: máquina eléctrica.

1781—m. BECCARIA. — n. POISSON. — n. BREWSTER. — n. HARE. — COULOMB: leyes de frotamiento. — LAVOISIER, LAPLACE y VOLTA: electricidad por vaporización. — LAGRANGE: teoría de las ondas.

1782—GAUTHEY inventa los tubos acústicos. — LESAGE: teoría de la gravitación.

1783—m. EULER. — m. D'ALEMBERT. — m. BEZOUT. — Hermanos MONTGOLFIER: invento del globo. — ROCHON: precursor de HERSCHEL en el estudio de los rayos caloríficos del espectro.

1784—n. CHRISTIE. — COULOMB: leyes de la torsión. — GADOLIN da su nombre al "calor específico". — INGENHOUSZ: conductibilidad calorífica de los sólidos.

1785—n. DULONG. — n. PELTIER. — n. GROTTHUS. — COULOMB: leyes de la acción mutua. — NAIRNE inventa su máquina electrostática. — SAUSSURE: electrómetro de punta.

1786—m. SCHEELE. — n. ARAGO. — n. SEGUIN. — BENNET: método de la llama en el electrómetro. — LAGRANGE: teoría de las ondas. — DU BUAT: resistencia del aire en el péndulo.

1787—n. OHM. — n. NORREMBERG. — COULOMB: distribución de la electricidad. — NICHOLSON inventa su areómetro. — CHLADNI: vibración de las placas y "figuras". — VOLTA: llamas en el electrómetro. — RUMFORD: conductibilidad de los sólidos.

1788—n. FRESNEL. — n. PONCELET. — n. A. C. BECQUEREL. — LAGRANGE inicia su vasta obra de mecánica. (1788-1815).

1789—n. DAGUERRE.

1790m. FRANKLIN. — n. DANIELL. — VOLTA realiza el experimento que inicia el estudio de la difusión de los gases. — PICTET: propagación del calor radiante.

1791—n. FARADAY. — n. MORSE. — n. MOSSOTTI. — n. SAVART. — n. POUILLET. — n. HARRIS. — n. PETIT. — GALVANI: explicación fisiológica de su descubrimiento de 1780. —

CHAPPE: telégrafo óptico. — GUGLIELMINI: desviación de la caída de un cuerpo.

1792—n. J. HERSCHEL. — n. BABBAGE. — n. DESPRETZ. — n. BELLI. — FABBRONI: explicación química del galvanismo. — BETANCOURT: tensión del vapor saturante. — RUMFORD: líquidos no conductores del calor. — WUNSCH: sustancias fluorescentes.

1793—m. MICHELL. — n. NOBILI. — n. GREEN. — FLAUGERGUES: teoría de las ondas. — MONGE: explicación del timbre.

1794—m. LAVOISIER. — m. LEIDENFROST. — n. BABINET. — n. BUSSY. — J. MONTGOLFIER: ariete hidráulico. — RUMFORD: termómetro horizontal de máxima y mínima; pide una unidad luminosa. — DALTON: el "daltonismo".

1795—m. CRAWFORD. — n. LAME. — LAGRANGE explica los sonidos diferenciales.

1796—m. WILKE. — n. SADI CARNOT. — n. POGGENDORFF. — n. ETTINGHAUSEN.

1797—n. DUHAMEL. — n. SAINT VENANT. — n. HENRY. — n. GASSIOT.

1798—m. GALVANI. — n. F. NEUMANN. — n. MELLONI. — n. BOUTIGNY. — n. COOPER. — LAPLACE: "Mecánica Celeste" (1798-1825). — SCHMIDT: tensión del vapor saturante.

1799—m. BLACK. — m. BORDA. — m. INGENHOUSZ. — n. CLAPEYRON. — VOLTA inventa la pila. — LEBON inventa el alumbrado de gas.

1800—n. DUMAS. — n. TALBOT. — HERSCHEL descubre los rayos infrarrojos. — GAUTHEROT: teoría química de la pila.

SIGLO XIX

1801—n. AIRY. — n. A. DE LA RIVE. — Ritter y WOLLASTON descubren los rayos ultravioletas. — WOLLASTON da la teoría química de la pila. — EVANS: máquina de vapor sin condensación. — ERMAN estudia la diferencia de resistencia de columnas líquidas.

1802—m. AEPINUS. — n. MAGNUS. — n. WHEATSTONE. — n. COLLADON. — WOLLASTON, partidario de las ondulaciones, observa las franjas negras del espectro; teoría de los colores. — YOUNG descubre y explica las interferencias por las ondulaciones. — GAUTHEROT descubre la polarización electrolítica. — GERSTNER estudia la teoría de las ondas. — HIGGINS: llamas cantantes. — ERMAN: conductibilidad eléctrica del agua. — DALTON y GAY-LUSSAC: ley de dilatación de los gases. — GAY-LUSSAC: corrección de las lecturas barométricas. — CHLADNI: estudia el eco y la resonancia; explica las llamas sonoras. — BRUGNATELLI: precursor de la galvanoplastía.

1803—m. LESAGE. — n. RUMFORD. — n. STURM. — n. DOPPLER. — n. LIBRI. — n.LIEBIG. — n. CHALLIS. — BIOT: teoría matemática del contacto. — DE SAUSSURE y PICTET: reflexión de rayos invisibles. — BERTHOLLET: difusión de los líquidos. — HENRY: ley de la solubilidad de los gases en los líquidos. — TREVITHICK: coche de vapor.

1804—m. PRIESTLEY. — n. LENZ. — n. L. BREGUET. — n. WEBER. — n. GINTL. — n. CHEVALIER. — RUMFORD: "Memoria Sobre el Calor". — WOLLASTON: Cámara clara. — BENZENBERG: experiencia de la desviación de la caída de un cuerpo. — POINSOT publica su obra de estática. — BIOT y GAY-LUSSAC: ascensión aerostática. — TREVITHICK construye un ferrocarril.

1805—n. HAMILTON. — n. GRAHAM. — n. BANCALARI. — YOUNG estudia la capilaridad. — DALTON: Tensión de los vapores saturantes. — BEHRENS: pila seca. — RITTER: Ley de tensiones. — HOPPE y RUMFORD demuestran la dilatación irregular del agua.

1806—m. COULOMB. — m. NAIRNE. — m. GAUTHEY. — n. MASSON. — n. MOHR. — LAPLACE estudia la capilaridad. — GROTTHUS y DAVY: teoría de la electrólisis. — BIOT y ARAGO: refracción de los gases con el prisma de BORDA. — DAVY busca la conciliación entre la teoría química y la teoría del contacto. — ERMAN: conductibilidad unipolar.

1807—m. ATWOOD. — m. LALANDE. — n. PALMIERI. — n. HUNT. — n. GUYOT. — FOURIER inicia su teoría analítica del calor. — FULTON: barco de vapor. — REUSS: Osmosis eléctrica. — YOUNG: el trabajo, la fuerza viva; elasticidad, vapores saturantes; los colores. — DAVY separa elementos por electrólisis. — ERMAN: la pila de BEHRENS no es una pila seca. — GAY-LUSSAC: experimento de la termodinámica.

1808—LAPLACE estudia la doble refracción por las emisiones. — MALUS descubre la polarización por reflexión. — HENRY: nuevos estudios de piroelectricidad. — BELLANI estudia el estado esferoidal.

1809—n. FORBES. — n. R. KOHLRAUSCH. — MALUS descubre la polarización por refracción; ley de Malus. DELUC: pila seca. — CORDIER: policroísmo. — PARROT: ósmosis. — WOLLASTON: goniómetro. — CAGNIARD hace del tornillo de Arquímedes una máquina de compresión. — ERMAN: electrocapilaridad del mercurio. — CHLADNI: el eúfono. — POISSON: resistencia del aire al movimiento del péndulo. — ARAGO: polarización de la luz atmosférica; "punto neutro".

1810—m. CAVENDISH. — n. REGNAULT. — n. QUET. — LESLIE: dispositivo refrigerante. — WOLLASTON trata de descubrir el transporte del electrólito en el animal.

1811—n. BUNSEN. — n. MATTEUCCI. — n. HOEFER. — n. ABBRIA. n. GROVE. — n. CAVAILLE-COLL. — ARAGO: polarización "cromática"; polarización rotatoria; polariscopio. — BIOT estudia la polarización cromática. — BENZENBERG: influencia de la temperatura sobre la velocidad del sonido. — BIOT, MALUS y BREWSTER: condiciones de la polarización por refracción. — SOMMERING coloca pilas y voltámetros en el telégrafo de LE-

SAGE. — SOFIA GERMAIN: estudio analítico de las vibraciones de las placas.

1812—m. LAGRANGE. — m. MALUS. — RUMFORD: "Memoria Sobre la Combustión". — ZAMBONI: pila seca (BEHRENS 1805). — DAVY: calor de combustión; partidario del calor-movimiento. — BERZELIUS: estudio de la electrólisis. — OERSTED ya trata de establecer relaciones entre la electricidad y el magnetismo. — ARAGO amplía las observaciones de MALUS sobre polarización.

1813—n. ANDREWS. n. BERTIN. — DAVY: arco voltaico. — DE LA ROCHE y BERARD: calor específico de los gases. — MORICHINI trata de descubrir una relación entre el magnetismo y la luz. — BREWSTER: polarización de las ágatas; polarización cromática.

1814. — m. RUMFORD. — m. BOSSUT. — n. MAYER. — n. ANGSTROM. — n. FAYE. — n. HANKEL. — n. GEISSLER. — n. TRESCA. — n. MELSENS. — WATT: determinación de la tensión de los vapores. — N. T. DE SAUSSURE: absorción de los gases por cuerpos porosos. — FISHER: ósmosis. — WOLLASTON inventa el crióforo. — BERARD: rayos caloríficos del espectro y su polarización. — STEPHENSON construye su primera locomotora. — GROTTHUS estudia la fosforescencia. — POUILLET: péndulo cónico.

1815—n. HIRN. — n. WERTHEIM. — n. CASELLI. — n. FROMENT. — FRAUNHOFER: rayos del espectro. — BIOT: leyes de polarización rotatoria de los líquidos. — DAVY: lámpara de seguridad. — SEEBECK: propagación de los rayos caloríficos. — BREWSTER: ley de polarización; birrefringencia del cristal por compresión. — CAUCHY estudia las ondas acuáticas. — ARAGO: cianómetro; ley de Arago. — FRESNEL inicia sus estudios de óptica con la difracción y la doble refracción.

1816—GAY-LUSSAC: barómetro de sifón; tensión de los vapores de mezclas. — NIEPCE inicia sus investigaciones sobre fotografía (1816-1829). — HACHETTE: contracción de la vena líquida. — FRESNEL y ARAGO: luz polarizada. — LAPLACE: relación entre la velocidad del sonido y K: corrección de la fórmula de NEWTON. — FRESNEL: interferencias; espejos de Fresnel. — GIRARD: derrame de los líquidos. — STIRLING: motor de aire caliente. — POISSON estudia el choque; las ondas acuáticas. — DULONG y PETIT: dilatación del mercurio.

1817—m. DELUC. — n. DESAINS. — n. BUYS-BALLOT. — HAUY descubre la piezoelectricidad. — LAPLACE: teoría de las vibraciones longitudinales. — BREGUET: termómetro metálico. — YOUNG rechaza las ondas luminosas longitudinales y propone las ondas transversales. — GAY-LUSSAC: influencia del vaso en la ebullición. — PORRET realiza experiencias sobre el transporte del electrólito (REUSS 1809). — BOHNENBERGER, precursor del invento del giroscopio (Foucault 1852).

1818—m. MONGE. — m. BRUGNATELLI. — n. JOULE. — n. JAMIN. — n. BABO. — n. REISET. — FRESNEL presenta su teoría de las ondulaciones. — DESPRETZ: ley de la vaporización. — DULONG y PETIT: el termómetro de peso; el catetómetro. — POISSON: el sonido en los líquidos. — T. SEEBECK: relación de la polarización rotatoria con la condensación de la solución. —

URE critica la opinión de DALTON (1803) sobre tensión de vapores.

1819—m. WATT. — n. STOKES. — n. FIZEAU. — n. FOUCAULT. —n. CANTONI. — n. FELICI. — n. POITEVIN. — OERSTED: experiencia de electromagnetismo. — DULONG y PETIT: ley del enfriamiento; calor específico de los átomos. — BREWSTER: kaleidoscopio. — SAVART: cuerdas estacionarias; resonancia. — POISSON: ondas longitudinales. — CLEMENT y DESORMES: determinación de k. — CAGNIARD DE LA TOUR: sirena.

1820—m. PETIT. — m. BLAGDEN. — m. DE LUCA. — n. RANKINE. — n. TYNDALL. — n. Ed. BECQUEREL. — OHM defiende la teoría del contacto. — AMPERE funda la electrodinámica; proyecto de telégrafo eléctrico. — DANIELL: higrómetro de condensación. — BEUDANT: velocidad del sonido en los líquidos. — PERKINS comprueba la compresibilidad del agua. — DAVY prevé la posibilidad del motor de explosión (LENOIR 1860). — WINKLER: tablas de correcciones barométricas. — BIOT y SAVART: su ley electromagnética. — ARAGO: atracción del hierro por el hilo conductor; imanación por la corriente; imanación momentánea del hierro dulce. — J. HERSCHEL: primer polariscopio.

1821—n. HELMHOLTZ. — n. DUMONCEL. — FRESNEL estudia la doble refracción. — AMPERE inventa el solenoide. — ARAGO y AMPERE: el electroimán. — SEEBECK: principio de la pila termoeléctrica. — POGGENDORFF y SCHWEIGGER: galvanómetro multiplicador. — DAVY observa distintas resistencias eléctricas de los metales, el aumento de resistencia a mayor temperatura y la relación de la resistencia con las dimensiones del alambre. — FARADAY inicia sus experiencias de electricidad. — ARAGO y BIOT: variación de la gravedad. — NAVIER: vibraciones de los sólidos elásticos. — HERAPATH: causa de la gravitación.

1822—m. G. HERSCHEL. — m. FABBRONI. — m. GROTTHUS. — n. CLAUSIUS. — n. LENOIR. — n. J. THOMSON. — n. BEETZ. n. J. BERTRAND. — n. LISSAJOUS. — n. L. CLARK. — OERSTED: piezómetro. — AMPERE: ecuación fundamental de electrodinámica. — ARAGO observa el magnetismo rotatorio. — CAGNIARD: estado crítico de los líquidos. — HERSCHEL prevé el análisis espectral y la polarización rotatoria magnética. — DESPRETZ: tensión de vapores. — FOURIER publica la "Teoría del Calor". — Medida de la velocidad del sonido por la Academia de Ciencias de París. — FRESNEL: espejos de interferencias. — BARLOW: "Rueda de Barlow". — FRANKLIN, PARRY y FORSTER: velocidad del sonido en regiones árticas. — SCHMIDT amplía la ley de BIOT-SAVART. — DAVY: conductibilidad eléctrica. — NAVIER estudia la viscosidad. — DOEBEREINER explica el estado esferoidal. — CHEVREUL: ósmosis.

1823—m. LAZARO CARNOT. — HAMILTON: doble refracción cónica. — CUMMING: influencia de la temperatura en termoelectricidad. — LAPLACE: fórmula de velocidad de los sonidos. — MITSCHERLICH: dilatación irregular de los cristales. — FARADAY licúa el cloro por compresión. — AMPERE: aguja estática. — OERSTED y FOURIER: pila termoeléctrica para estudios caloríficos. — DAVY: experimento sobre la rotación de un líquido. — A. C. BECQUEREL : estudio de la electrólisis.

1824—n. KELVIN. — n. KIRCHHOFF. — n. HITTORF. — n. CARRE. — SADI CARNOT: Segundo Principio de la Termodinámica. — ARAGO descubre la polarización por emisión y por difracción; estudia el magnetismo rotatorio. — MOLL y BEEK: velocidad del sonido. — BREWSTER da su nombre a la piroelectricidad. — MITSCHERLICH y FRESNEL: dilatación de los cristales. — POISSON: vibraciones de las placas. — J. HERSCHEL: electrocapilaridad del mercurio.

1825—Hermanos WEBER: teoría de las ondas. — STURGEON: electroimán de herradura. — STREHLKE: estudio de las figuras de Chladni. — BECQUEREL y BARLOW: observaciones precursoras del descubrimiento de OHM (1827). — FRESNEL: la presión de la luz. — PONCELET: rueda hidráulica. — HALLSTROM estudia la dilatación del agua. — NOBILI perfecciona los multiplicadores (POGGENDORFF y SCHWEIGGER, 1821).

1826—n. WIEDEMANN. — n. GRAMME. — n. RIEMANN. — AMPERE publica su teoría electrodinámica. — SEEBECK estudia el magnetismo rotatorio. — OERSTED y SVENDSEN rectifican la ley de Boyle-Mariotte. — TALBOT: espectro del estroncio. — RITCHIE: fotómetro semejante al de BOUGUER (1724). — FRESNEL: biprisma. — DULONG: refracción de los gases. — POGGENDORFF: lectura por reflexión de los galvanómetros. — SAVART: Propagación del sonido en los líquidos. — POISSON: teoría del magnetismo; propagación del sonido. — CAUCHY estudia el choque. — BREWSTER: electroimanes de herradura (STURGEON, 1825). — CHRISTIE busca una relación entre el magnetismo y la luz.

1827—m. FRESNEL. — m. LAPLACE. — m. VOLTA. — m. CHLADNI. — n. SORET. — OHM establece su ley. — BARLOW estudia la resistencia eléctrica. — COLLADON y STURM: velocidad del sonido en el agua. — A. C. BECQUEREL: diamagnetismo del antimonio. — SEGUIN: caldera tubular. — MAGNUS estudia la ósmosis. — DUTROCHET: endosmómetro. — DESPRETZ: rectificación de la ley de Boyle-Mariotte. — DE BOUCHEPORN: causa de la gravitación. — BROWN: movimiento browniano. — RUDBERG: fórmulas de la dispersión. — POUILLET: electrización por vaporización. — WHEATSTONE: kaleidófono.

1828—m. WOLLASTON. — n. TELLIER. — NICOL: prisma birrefringente. — GREEN publica su análisis de las teorías eléctricas y magnéticas. — DE LA RIVE y CANDOLLE: conductibilidad calorífica de la madera. — BIOT: concepto de masa. — POISSON: determinación del magnetismo terrestre. — SAVART: estudio de las figuras de Chladni; tubos sonoros. — HENRY perfecciona los electroimanes; precursor de MORSE. — COLLADON: licuefacción de gases. — BUFF y MUNCKE rechazan la explicación de DOEBEREINER (1822) sobre el estado esferoidal. — BESSEL: estudio de la forma de la Tierra por el péndulo.

1829—m. YOUNG. — m. DAVY. — STEPHENSON: primer ferrocarril de pasajeros. — GAUSS: su teorema. — MITCHELL: difusión de los gases en los sólidos. — A. C. BECQUEREL inventa la pila llamada "de Daniell". — PONCELET: concepto del trabajo. — BABINET propone la longitud de onda como unidad de medida. — DULONG: calor específico de los gases; propagación

del sonido en los gases. — WOLLASTON: límite de perceptibilidad de los sonidos. — FARADAY perfecciona el vidrio.

1830—m. FOURIER. — m. CARMINATI. — n. RAOULT. — n. MAREY. — DULONG y ARAGO: tensión de los vapores. — A. SEEBECK: polariscopio. — SAVART: rueda dentada; límites de percepción de los sonidos. — G. WEBER: inscripción de vibraciones sonoras en un cristal. — DAL NEGRO: máquina electromotora. — NOBILI: termomultiplicador. — BREWSTER estudia la polarización elíptica.

1831—m. LE BAILLIF. — n. MAXWELL. — n. HUGHES. — n. TAIT. — n. BOSSCHA. — n. BOHN. — FARADAY descubre la inducción "voltaica" y "magnética"; estudia las ilusiones ópticas y las superficies vibrantes. — FONTANA: magnetostricción. — FECHNER: polarización electrolítica; confirma la ley de Ohm. — POUILLET amplía la obra de OHM sobre conductibilidad eléctrica. — HALLSTROM: explicación de las pulsaciones. — POISSON estudia la viscosidad (NAVIER, 1822). — F. E. NEUMANN generaliza la ley de Dulong y Petit. — AIRY: teoría de la "polarización cromática". — TALBOT: "franjas de interferencia de Talbot".

1832—m. SADI CARNOT. — m. LESLIE. — m. PRIEUR. — m. CHAPTAL. — n. NEUMANN. — n. CROOKES. — n. CAILLETET. — PIXII: motor eléctrico. — REICH: experimentos sobre la desviación de la caída de los cuerpos. — MELLONI: calor radiante. — HAMILTON descubre teóricamente la polarización cónica. F. E. NEUMANN: polarización elíptica. — GAUSS: unidades absolutas de medida (H. M. S.); medición del magnetismo terrestre; capilaridad. — POISSON: desplazamiento del aire por el péndulo. — FECHNER defiende la teoría de FRESNEL. — HALLSTROM: teoría de los sonidos diferenciales.

1833—n. NIEPCE. — n. CHRISTIAN. — FARADAY: leyes de la electrólisis. — AIRY: polarización elíptica por reflexión. — LLOYD: comprobación de la refracción cónica. — PLATEAU inventa el "zootropio", iniciación de la cinematografía. — NICOL: polariscopio con espato doble. — MATTEUCCI: interferencia del calor radiante. — WHEATSTONE explica las figuras de Chladni. (1787). — BARLOW: investigación sobre perturbaciones de la brújula. — GAUSS: definición racional de la masa. — BREWSTER renuncia a la teoría de las emisiones. — SCHILLING: telégrafo con cinco galvanómetros. — J. HERSCHEL: aparato de interferencias sonoras. — RITCHIE, precursor de MELLONI (1835).

1834—m. C. G. DE LA RIVE. — n. QUINCKE. — n. LOUGUININE. — n. LANGLEY. — n. PREECE. — n. MENDELEIEFF. — FARADAY: self-inducción; crítica de la teoría de DAVY de

la electrólisis. — LENZ: su ley. — WHEATSTONE: espejo giratorio. — GRAHAM: ley de difusión de los gases (1834-1866). — PELTIER: efecto termoeléctrico. — HAMILTON: "Principio de la Acción Variable"; la "función potencial". — HERMANN: calorímetro de hielo tipo "Bunsen". — TALBOT: prevé el análisis espectral. — JACOBI: Proyecto de motor eléctrico. — CLAPEYRON: desarrollo de las ideas de CARNOT. — ELLIOT: proyecta el estereoscopio.

1835—m. NOBILI. — m. BACCELLI. — n. E. GRAY. — n. STEFAN. — MORSE: telégrafo electromagnético. — MELLONI: igualdad entre el poder emisivo y el poder absorbente. — WEBER: elasticidad retardada. — DE LA RIVE: defensa de la teoría química de la pila. — MULLER: pinza de turmalina. — DOVE: polariscopio con dos nicols. — CAGNIARD DE LA TOUR: velocidad del sonido en los líquidos (método de la columna). — FORBES: polarización del calor radiante (BERARD, 1814). — MAC CULLAGH: conceptos sobre el éter. — PLANA: resistencia del aire en el movimiento del péndulo.

1836—m. AMPERE. — n. MERCADIER. — n. HOLTZ. — DANIELL: su pila (ver BECQUEREL, 1829). — CLARKE: motor eléctrico. — CAUCHY: fórmula de la dispersión. — GAUSS y HUMBOLDT fundan la "Asociación Magnética" (1836-1842). — BIOT: resumen de sus investigaciones sobre calor radiante. — PELTIER: electrómetro. — GREEN: resistencia del aire al movimiento del péndulo. — MAGNUS: tensión de los vapores de mezclas.

1837—n. MASCART. — n. SARRAU. — n. LOMMEL. — AIRY: teoría del arco iris. — FARADAY: teorema, cilindro, jaula, "espacio oscuro". — POUILLET: rectificación de la ley de Boyle-Mariotte; la brújula de tangentes. — RUDBERG: dilatación de los gases. — KNOX: conductibilidad del selenio. — SAVART: vibraciones en el interior de los tubos sonoros. — SEEBECK: el daltonismo (DALTON), 1794). — GAUSS: magnetómetro unifilar y bifilar. — WEBER: inclinómetro. — STEINHEIL, RITCHIE, ALEXANDER, WHEATSTONE, COOK perfeccionan el telégrafo. — BABINET: arco iris, doble refracción circular, óptica de minerales. — RIESS: descargas oscilantes. — PAGE y HENRY: "música galvánica".

1838—m. DULONG. — n. MACH. — ARAGO: proyecto del método de FOUCAULT (1849). — DULONG: calor de combustión; definición de la caloría. — LENZ: leyes de polarización electrolítica. MATTEUCCI: el mercurio no da corrientes térmicas. — SORET: determinación de la densidad de los gases por su velocidad de derrame. — HOPKINS: dispositivo para estudio de las figuras sonoras y de las interferencias. — GMELIN critica la teoría de GROT-

THUS. — POGGENDORFF: un conmutador. — MAUGHAM: licuefacción de gases. — FARADAY: acción de los dieléctricos en los condensadores. — FORBES: rayos caloríficos comparables a los colores. — GREEN: teoría de la luz. — STEINHEIL suprime el hilo de regreso en el telégrafo. — BREWSTER: fluorescencia (reflexión interna).

1839—m. PRONY. — m. PREVOST. — m. MURDOCH. — n. GIBBS. n. LECLANCHE. — ELLIOT y WHEATSTONE construyen estereoscopios de reflexión. — GAUSS: obra de magnetismo; teoría del potencial. — JACOBI: galvanoplastía. — GROVE: pila. — SEGUIN: equivalente mecánico del calor. — A. C. BECQUEREL: fotómetro electroquímico. — DAGUERRE: daguerreotipía. — SCHOENBEIN: corrientes secundarias. — WEBER: teoría de la inducción unipolar. — DESPRETZ sostiene la conductibilidad calorífica de los líquidos y estudia la dilatación del agua. — PLATEAU estudia la irradiación. — FARADAY estudia la descarga. — AIRY: influencia del hierro del barco sobre la brújula. — HAGEN: derrame de los líquitos. — STEINHEIL: reloj eléctrico.

1840—m. POISSON. — n. F. KOHLRAUSCH. — n. POTIER. — BOUTIGNY: experimento sobre estado esferoidal. — ARMSTRONG: máquina eléctrica de vapor. — JOULE inicia sus investigaciones de termodinámica. — FARADAY ataca la teoría del contacto. — JAMIN: polarización elíptica por reflexión. — DUHAMEL: inscripción de las vibraciones sonoras; teoría de los sonidos compuestos. — WEBER: teoría de la brújula de tangentes (POUILLET, 1837). — NEUMANN estudia la polarización elíptica. — SAVART: polariscopio. — J. HERSCHEL: irregularidad de absorción en el espectro. — POGGENDORFF modifica la brújula de tangentes (POUILLET, 1837); estudios de polarización electrolítica. — HUNT fija colores en el cloruro de plata. — PELTIER: electricidad por evaporación. — TALBOT: procedimiento fotográfico.

1841—m. SAVART. — m. GREEN. — m. PACINOTTI. — n. CORNU. — n. VIOLLE. — n. G. LEBON. — n. AMAGAT. — JOULE: ley del "calor de Joule". — HESS: calor de combustión de un cuerpo complejo. — POGGENDORFF perfecciona la pila de GROVE. — BREWSTER: polariscopio. — E. BECQUEREL: actinómetro electroquímico. — DELLMANN: electrómetro.

1842—n. DEWAR. — n. R. PICTET. — n. LINDE. — n. CROS. — n. CHRISTIANSEN. — n. DARBOUX. — MAYER: primer principio de la termodinámica. — DOPPLER descubre el "fenómeno Doppler". — JACOBI amplía el principio de HAMILTON. — REGNAULT y MAGNUS: dilatación de los gases. — MOSER: condensación de los gases en la superficie de los sólidos; imágenes de

Moser. — HENRY observa descargas a distancias de una botella de Leyden (ondas hertzianas). — WERTHEIM invierte el procedimiento de DUHAMEL (1840) como cronómetro. — POISEUILLE: derrame de los líquidos.

1843—JOULE: experimentos sobre el equivalente mecánico del calor. — BUNSEN inventa su pila. — REGNAULT y MAGNUS: tensión de los vapores. — E. BECQUEREL: calor de Joule. — DELLMANN: electrómetro. — NERVANDER perfecciona la brújula de tangentes. — WHEATSTONE amplía los trabajos de OHM y POUILLET sobre conductibilidad eléctrica; su reóstato. — OHM: percepción de sonidos simples. — GAUSS: "Investigaciones Dióptricas". — CASSELMANN: estudio del arco voltaico. — FARADAY: explicación de la máquina de ARMSTRONG (1840). — DRAPER: absorción del espectro. — POGGENDORFF perfecciona la máquina de Atwood. — WHEATSTONE: su pila.

1844—m. DALTON. — m. HOPE. — n. BOLTZMANN. — STARR: la lámpara incandescente. — GAUSS y WEBER: instalación de un telégrafo. — BREWSTER: estereoscopio de refracción. — VIDI: barómetro aneroide. — LENZ: calor de Joule. — BRAVAIS y MARTINS: velocidad del sonido en las alturas. — MATTEUCCI defiende la teoría del contacto. — NATTERER: aparato de liquefacción. — POGGENDORFF: balanza de polarización; estado esferoidal. — BUNSEN: fotómetro de manchas. — MITSCHERLICH: primer sacarímetro. — JOULE generaliza la ley de Dulong y Petit. — NATTERER: licuefacción de gases.

1845—m. DANIELL. — m. PELTIER. — n. ROENTGEN. — n. LIPPMANN. — n. KERR. — n. BOTTOMLEY. — n. PULUJ. — n. COLLEY. — FARADAY: polarización rotatoria magnética. — F. E. NEUMANN: teoría de la electricidad. — ANDREWS: capacidad calorífica. — FORBES: polarización del calor. — JOULE: ley de los gases. — REGNAULT: calor latente del agua. — KIRCHHOFF: corrientes derivadas. — BUYS-BALLOT: fenómeno Doppler en acústica. — POUILLET critica la teoría de GROTTHUS y DAVY de electrólisis. — STOKES defiende la hipótesis de la movilidad del éter, contra YOUNG y FRESNEL. — SOLEIL: sacarímetro con doble placa de cuarzo. — A. C. BECQUEREL: balanza electromagnética y galvanómetro diferencial. — POUILLET: duración del choque; electrólisis. — HERSCHEL: fluorescencia (difusión superficial). — VERDET estudia la rotación magnética del plano de polarización.

1846—n. BRANLY. — FARADAY estudia el magnetismo de las llamas, el diamagnetismo y el paramagnetismo. — A. SEEBECK: teoría de la vibración de las varillas. — WEBER inicia sus estudios de electrodinámica; galvanómetro de espejo. — MARIE-DAVY:

excepciones a la ley de Ohm. — JACOBI propone una unidad de resistencia eléctrica. — AIRY: teoría de la polarización rotatoria (FARADAY, 1841). — LENZ: corrientes secundarias. — POGGENDORFF: fórmulas del puente de WHEATSTONE (1844). — E. BECQUEREL: resistencia de las soluciones salinas; dispositivo para la rotación magnética del plano de polarización. — WARTMANN: rotación magnética de los rayos caloríficos.

1847—m. MUNCKE. — n. EDISON. — n. BELL. — n. JABLOCHKOFF. — HELMHOLTZ: "Sobre la Conservación de la Fuerza". — PLUCKER: influencia del campo magnético sobre los cristales. — JOULE: magnetostricción. — JAMIN: reflexión en los metales. — KOHLRAUSCH: electrómetro. — REGNAULT: corrección de la ley de Boyle-Mariotte. — SENARMONT: conductibilidad calorífica de los cristales. — F. NEUMANN: teoría electrodinámica. — VAN BREDA: estudio del arco voltaico. — MOSSOTTI: teoría de los dieléctricos. — FIZEAU y FOUCAULT: interferencias del calor. — J. HERSCHEL: calorímetro de hielo. — PERSON: cero absoluto.

1848—n. ROWLAND. — FARADAY reinicia el estudio del punto crítico (CAGNIARD, 1822). — MASSON: carrete de inducción. — ANDREWS: calor de combustión de los gases. — REGNAULT: corrección de las determinaciones de COLLADON; compresibilidad de los líquidos. — MITCHELL y otros: medidas de la velocidad de la electricidad. — KNOBLAUSCH: doble refracción y difracción del calor radiante. — KOHLRAUSCH estudia la ley de Ohm. — WOESTYN generaliza la ley de Dulong y Petit. — JAMIN estudia la polarización elíptica. — POGGENDORFF: comprobación de la ley de Joule. — STOKES: estudio de la forma de la Tierra por el péndulo. — NIEPCE DE SAINT VICTOR: placa fotográfica. — HIRN: memoria sobre el frotamiento.

1849—m. PERKINS. — n. MANEUVRIER. — n. GOSSART. — FIZEAU y FOUCAULT: métodos físicos de determinación de la velocidad de la luz. — STOKES estudia la polarización por difracción. — WERTHEIM: velocidad del sonido en una columna líquida. — KOHLRAUSCH: confirmación de la ley de Ohm. — J. THOMSON: influencia de la presión sobre el punto de fusión. — BARLOW: corrientes terrestres propuestas por AMPERE. — FAYE: fotografías sucesivas de las fases de los astros. — HELMHOLTZ perfecciona la brújula de tangentes. — RANKINE inicia su obra de termodinámica. — E. BECQUEREL: principio del magnetismo inducido. — JOLLY: ósmosis. — BABINET: compensador. — STAITE y FOUCAULT: reguladores del arco voltaico. — MATTEUCCI: poder inductor de los dieléctricos.

1850—m. GAY-LUSSAC. — n. RIGHI. — n. GAULARD. — n. BRAUN. — n. LECHATELIER. — MELLONI: el calor radiante. — Instalación del primer cable submarino. — CLAUSIUS: segundo principio de termodinámica. — GRAHAM: difusión de los líquidos. — FARADAY descubre el "rehielo". — STOKES estudia la teoría de AIRY (1837) del arco iris. — BREWSTER: luminiscencia del platinocianuro de bario. — DE LA PROVOSTAYE y DESAINS desarrollan la obra de MELLONI (1833). — MELLONI: coloración calorífica. — KIRCHHOFF: vibración de las placas.

1851—m. OERSTED. — m. DAGUERRE. — m. NICOL. — n. S. P. THOMSON. — n. FITZGERALD. — n. O. LODGE. — KELVIN: estudio de termodinámica; inducción magnética. — STOKES: fluorescencia; influencia del aire en el péndulo. — FOUCAULT: péndulo. — RUHMKORFF: el carrete de inducción (MASSON, 1848). — HELMHOLTZ: oftalmoscopio; confirmación y ampliación de la ley de Ohm. — WERTHEIM y BREGUET: propagación del sonido en los sólidos. — SVANBERG: el bolómetro. — DOVE: sirena de Cagniard perfeccionada. — FIZEAU: experimento sobre movilidad del éter.

1852—m. BELLANY. — m. GANDOLIN. — n. MOISSAN. — n. RAMSAY. n. VAN T HOFF. n. ENRIQUE BECQUEREL. — n. MICHELSON. — n. POINTING. n. CHWOLSON. — LAME: teoría de las vibraciones de las membranas. — WIEDEMANN: leyes de la ósmosis eléctrica. — DESPRETZ: crítica de la ley de Ohm. — GIFFARD: el globo dirigible. — WERTHEIM: influencia de la presión sobre la imanación. — CLAUSIUS: explicación matemática del "calor de Joule". — LAME: teoría de la gravitación por el éter; vibración de las membranas. — WEBER: unidades eléctricas. — STOKES: fluorescencia. — RANKINE reintroduce el término de "energía". — E. BECQUEREL: estudio de la corriente de la pila. — DE LA PROVOSTAYE y DESAINS: polarización por difusión exterior. — TALBOT: grabado fotográfico. — FOUCAULT: giroscopio.

1853—m. ARAGO. — m. MELLONI. — n. LORENTZ. — n. KAMMERLINGH. — n. OSTWALD. — HIRN inicia sus experimentos de termodinámica (1853-1876). — HITTORF: estudio de la electrólisis; movimiento de los iones. — FAVRE y SILBERMANN: calor de vaporización de los gases licuados. — MASSON: velocidad de la electricidad en el vacío. — WIEDEMANN y FRANZ: relación entre la conductibilidad eléctrica y calorífica. — BUFF: experimentos de electrólisis. — FIZEAU: el condensador en el carrete de inducción. — KELVIN: escala normal; distribución de la electricidad en los conductores. — KIRCHHOFF: comprobación de la ley de Ohm. — BRAVAIS: cálculos sobre la brújula de tangen-

tes. — GAUGAIN perfecciona la brújula de tangentes. — E. BECQUEREL: resistencia de los gases. — MAGNUS: "efecto Magnus".

1854—m. OHM. — n. E. POINCARE. — FOUCAULT: Comprobación experimental de la teoría de Fresnel. — R. KOHLRAUSCH: teoría de la descarga residual. — CASELLI: el pantelégrafo. — SINSTEDEN: voltámetro. — Padre SECCHI: variación de la declinación. — CLAUSIUS: la entropía. — BOURSEUL: precursor del teléfono. — PLUCKER: tensión de los vapores. — POUILLET: estudio de los pararrayos. — MATTEUCCI: diamagnetismo de las llamas. — GASSIOT: velocidad de la electricidad en los gases rarificados. — BUNSEN: mechero. — CAUCHY estudia la polarización elíptica. — GRAHAM: ósmosis. — REGNAULT: tensión de los vapores. — NATTERER: licuefacción de los gases. — WERTHEIM: presión y birrefringencia. (BREWSTER, 1815).

1855—m. GAUSS. — m. STURM. — n. HALL. — n. BOYS. — RANKINE: "Sobre Energética". — HUGHES: telégrafo impresor. — KELVIN: oscilaçiones eléctricas; electrómetro de cuadrante. — FOUCAULT: estudio de las "corrientes de Foucault". — GEISSLER: invento de los "tubos de Geissler'. — FICK: difusión libre de los líquidos. — HELMHOLTZ recuerda la teoría de los colores de YOUNG (1807). — AIRY: compensación magnética de la brújula. — POGGENDORFF explica las "corrientes de Foucault". — BAZIN: vena líquida. — POITEVIN: fotografía al carbón.

1856—m. PEPYS. — n. J. J. THOMSON. — n. GRATZ. — MAXWELL: memoria sobre "líneas de fuerza" de FARADAY. — SCOTT: fonautógrafo, precursor del fonógrafo. — KELVIN. — teoría de la termoelectricidad; "efecto Thomson"; difusión de los líquidos. — R. KOHLRAUSCH: teoría de la electrólisis. — NEGRETTI y ZAMBRA: termómetro de uso medicinal. — KROENIG: teoría cinética de los gases. — GRENET: pila. — MEYERSTEIN: espectrómetro. — SAINT-VENANT: teoría de la flexión y de la torsión. — TYNDALL: diamagnetismo. — HELMHOLTZ: sonidos diferenciales. — JAMIN: refractómetro interferencias.

1857—m. SCHWEIGGER. — n. HERTZ. — n. TESLA. — n. LARMOR. — CLAUSIUS: teoría de la electrólisis; teoría cinética de los gases. — CARRE: máquinas frigoríficas. — GEISSLER: bomba de mercurio. — LISSAJOUS: microscopio de sonidos. — WEBER y KOHLRAUSCH: velocidad de la electricidad; medidas electromagnéticas. — BUNSEN: derrame de los gases; solubilidad de los gases con el absorciómetro. — TYNDALL explica el "rehielo". — SWAN atribuye al sodio las rayas espectrales amarillas. — MAXWELL recuerda la teoría de los colores de YOUNG (1807). — BUYS BALLOT enuncia su ley. — FARADAY: propagación de los fenómenos eléctricos. — SIEMENS: poder inductor de los

dieléctricos. — WERTHEIM: torsión de los hilos, vibraciones espirales.

1858—m. MASSON. — m. R. KOHLRAUSCH. — m. HARE. — n. PLANCK. — n. BOSE. — DE CHANGY: lámpara de incandescencia. — HIRN: experimentos de termodinámica. — FIZEAU aplica el fenómeno Doppler al espectro de una estrella. — JAMIN: interferómetro. — RIEMANN: teoría electrodinámica. — JACOBI: estudio de la brújula de tangentes. — J. MULLER: irregularidad de absorción del espectro. — C. NEUMANN estudia la rotación magnética del plano de polarización.

1859—m. HUMBOLDT. — m. CAGNIARD. — m. CHEVALIER. — n. CURIE. — n. ARRHENIUS. — BUNSEN y KIRCHHOFF: el análisis espectral: — KELVIN: galvanómetro de espejo. — CHALLIS: teoría ondulatoria de la gravitación. — GIFFARD: inyector de vapor. — CARRE: máquina frigorífica. — PLANTE: el acumulador. — RANKINE: teoría termodinámica de las máquinas. — HELMHOLTZ: la resonancia.

1860—m. BELLI. — n. P. VILLARD. — LENOIR inventa el motor de explosión. — KIRCHHOFF: ley de radiaciones. — Ed. BECQUEREL: fosforescencia (1860-1868). — MENDELEIEFF: "punto crítico". — TRESCA: derrame de los sólidos. — SIEMENS: propone la unidad de resistencia eléctrica de mercurio o de platino. — PACINOTTI: anillo similar al de GRAMME (1868). — AMICI: prisma de visión directa. — GAUGAIN: comprobación de la ley de Ohm. — HAGENBACH: coeficiente de viscosidad. — HELMHOLTZ y PIOTROWSKI: medida de viscosidad por oscilaciones y torsiones. — LABORDE: corrientes ondulatorias.

1861—m. WERTHEIM. — n. P. DUHEM. — n. GUILLAUME. — n. MATHIAS. — MAGNUS: conductibilidad calorífica de los gases. — BERTIN: "superficies isocromáticas". — PLATEAU: experiencias sobre la forma de los líquidos. — DUMONT aplica la fotografía al zootropio.

1862—m. BIOT. — m. BARLOW. — m. DELEUIL. — n. A. LUMIERE. — n. BATTELLI. — n. LENARD. — n. L. POINCARE. — LE ROUX descubre la dispersión anómala. — REGNAULT: calor específico de los gases; propagación del sonido (1862-1866). — FIZEAU: proyecto de espectroscopio de interferencias. — LOMMEL critica el estudio de STOKES sobre fluorescencia. — FARADAY no logra descubrir influencia del magnetismo sobre los colores. — PARROT: estudio del péndulo horizontal. — F. E. NEUMANN estudia la conductibilidad calorífica. — CHRISTOFFEL amplía la teoría de CAUCHY (1836) sobre dispersión.

1863—m. DESPRETZ. — m. MOSSOTTI. — m. DOPPLER. — m. COOPER. — n. PAINLEVE. — HELMHOLTZ inicia sus investigaciones de acústica (1863-1877). — ANGSTROM: conduc-

tibilidad calorífica. — WIENER: explicación del movimiento browniano. — MASCART: investigación de la región ultravioleta. — DUCOS DE HAURON prevé el cinematógrafo. — KELLER: causa de la gravitación. — VERDET: ley de la polarización rotatoria magnética. — KIRCHHOFF: vena líquida. — WILHELMY se opone al criterio de LAPLACE sobre fuerzas moleculares..

1864—m. CLAPEYRON. — m. CHRISTIE. — n. BRANLY. — n. L. LUMIERE. — n. NERNST. — n. MINKOWSKY. — BUNSEN y ROSCOE: lámpara de magnesio, fotómetro fotoquímico. — KOPP: "ley de Joule-Kopp"; llama "calor atómico" al producto obtenido por DULONG y PETIT. — PACINOTTI: anillo de dínamo. — FIZEAU: dilatómetro. — KOENIG: llamas manométricas. — WILD: polaristrobómetro. — TYNDALL: calorescencia. — CLAUSIUS: ley de Kirchhoff-Clausius. — RAOULT: polarización del mercurio.

1865—m. HAMILTON. — m. FROMENT. — n. ZEEMAN. — n. PASCHEN. — TOEPLER y HOLTZ: máquinas eléctricas de influencia. — TAIT y THOMSON (KELVIN): "Tratado de Filosofía Natural". — SPRENGEL: trompa de mercurio. — PLUCKER e HITTORF: variación del espectro con la temperatura. — HANKEL: teoría electrodinámica. — BEETZ estudia la ley de Ohm. — POITEVIN, precursor de la fotografía de los colores. — POGGENDORFF perfecciona la bomba de GEISSLER (1857).

1866—m. RIEMANN. — m. VERDET. — Colocación del cable transatlántico. — BOLTZMANN: segundo principio de la termodinámica. — SELLMEYER: teoría mecánica de la dispersión anómala — QUINCKE: tubo de interferencia; sonidos adicionales. — SIEMENS: principio dinamoeléctrico; primera máquina a dínamo. — TYNDALL: absorción del espectro. — E. BECQUEREL: estudios de termoelectricidad. — GOVI: magnetostricción. — QUINTUS ICILIUS: ley de Kirchhoff-Clausius (1864).

1867—m. PONCELET. — m. FARADAY. — m. HARRIS. — n. Sra. CURIE. — n. BRUHNES. — MAXWELL: teoría electromagnética. — LECLANCHE: pila. — LOUGUININE y KHANIKOFF: absorción de los gases. — KELVIN: "siphon-recorder". — HOLTZ: máquina llamada de "Wimshurst". — SAINT VENANT: el choque. — TRAUBE: ósmosis. — ANDREWS: licuefacción de los gases. — NIEPCE DE SAINT VICTOR: las sales de uranio impresionan la placa fotográfica.

1868—m. FOUCAULT. — m. BREWSTER. — m. POUILLET. — m. FORBES. — m. MATTEUCCI. — n. LAMPA. — n. FERRIE. — n. MILLIKAN. — EDISON: telégrafo duplex. — LISSAJOUS: ondas acuáticas. — GRAMME: "anillo de Gramme". — GUTHRIE: conductibilidad de los líquidos por el método de la lámina. — HUGGINS comprueba el método propuesto por DOPPLER y FI-

ZEAU (1858). — PAALZOW estudia la dilatación de los líquidos por el método DESPRETZ (1839). — BOUSSINESQ: "ecuación". — E. BECQUEREL: fotografía de los colores, fosforescencia. — HELMHOLTZ: deformación de la vena líquida. — KIRCHHOFF: velocidad del sonido en un tubo sonoro; la resonancia.

1869—m. GRAHAM. — m. LIBRI. — m. BERARD. — m. DUPRE. — n. NICHOLS. — HITTORF descubre los rayos catódicos. — ANDREWS: vaporización total, punto crítico. — WILD: fotómetro de vaporización. — CROS y DUCOS DE HAURON: tricromía fotográfica. — ZOLLNER estudia el péndulo horizontal. — LEBOIS-BAUDRAN: causa de la gravitación. — C. NEUMANN estudia la ley de Weber; principio de la velocidad virtual. — CORNU y MERCADIER: límites de perceptibilidad de los sonidos.

1870—m. LAME. — m. MAGNUS. — n. PERRIN. — BUNSEN: calorímetro. — CHRISTIANSEN: dispersión anómala (LEROUX 1862). — KUNDT: ondas acuáticas. — DESAINS y BOURBOUZE: telégrafos sin hilos con el agua del Sena. — ANDREWS: punto crítico. — CAILLETET: ley de Boyle-Mariotte. — HELMHOLTZ: teoría electrodinámica. — WARBURG: extensión de la ley de POISEUILLE (1842). — BOLTZMANN y TOPLER: estudios de acústica. — HEYL: proyecciones sucesivas de fotografías.

1871—m. J. HERSCHEL. — m. BABBAGE. — KELVIN: ondas acuáticas. — NEUMANN y CLAUSIUS: teorías electrodinámicas. — LINDE: máquinas frigoríficas. — LOMMEL: explicación de la fluorescencia; fluorescencia anormal. — TYNDALL: "efecto Tyndall". — EDLUND: teoría electrodinámica. — SCHNEEBELI: duración del choque (POUILLET, 1845). — BOLTZMAN: ley de Dulong y Petit. — O. E. MEYER: influencia del aire en el péndulo. — RAYLEIGH: resonancia. — VARLEY: experiencias de rayos catódicos. — CORNU: velocidad de la luz.

1872—m. BABINET. — m. DUHAMEL. — m. RANKINE. — ZOLLNER identifica la gravitación y la electricidad. — STEFAN: conductibilidad de los gases. — KELVIN: hipótesis de LESAGE de la gravitación. — LAMANSKY: lagunas en el espectro. — BOLTZMANN: determinación del poder inductor de los dieléctricos. — RIGHI: defensa de la teoría del contacto. — SELLMEYER: teoría de la dispersión anómala.

1873—m. A. DE LA RIVE. — m. LIEBIG. — MAXWELL desarrolla su teoría en "Electricidad y Magnetismo". — LISSAJOUS: estudio óptico de vibraciones sonoras. — JAMIN: imanes. — SILJESTROM: ley de Boyle-Mariotte. — VAN DER WAALS: ecuación

de estado de los gases. — BOLTZMANN demuestra la relación entre la constante dieléctrica y el índice de refracción (MAXWELL). — LECLANCHE: pila.

1874—m. M. JACOBI. — m. ANGSTROM. — n. MARCONI. — EDISON: telégrafo cuadrúplex. — KELVIN y TAIT: determinación de la forma de la Tierra por el péndulo. — GRAMME: dínamo. — STEFAN: difusión de los líquidos. — AVENARIUS: generalización del punto crítico. — MENDELEIEFF: ley de Boyle-Mariotte. — CORNU: estudio de la región espectral ultravioleta. — JANSEN: el revólver fotográfico. — KOHLRAUSCH: polarización de la pila. — BARTOLI: presión de la luz. — BOLTZMANN: teoría de la elasticidad; poder inductor de los gases y cristales.

1875—m. WHEATSTONE. — m. SEGUIN. — LIPPMANN: electrocapilaridad; galvanómetro capilar. — KERR: fenómeno óptico-eléctrico (en los sólidos).— COPPET: teoría cinética de la sobrefusión. — CROOKES: radiómetro; presión de la luz. — SIEMENS: fotómetro. — WARBURG y KUNDT: conductibilidad del calor. — MERCADIER: vibraciones de las membranas, hilos y diapasones.

1876—BELL y GRAY inventan el teléfono. — ROWLAND: fenómeno electrodinámico. — GIBBS: termodinámica química. — TELLIER: industria del frío. — F. KOHLRAUSCH: teoría electrolítica. — KERR: variación de la polarización por reflexión en el hierro imanado. — KIRCHHOFF: estudio analítico del movimiento del éter. — ZOLLNER amplía la ley de Kirchhoff. — KOENIG: teoría de los sonidos diferenciales en oposición a HELMHOLTZ (1856). — GOLDSTEIN: sus estudios de los rayos catódicos.

1877—m. POGGENDORFF. — m. RUHMKORFF. m. TALBOT. — n. PICKARD. — EDISON: el fonógrafo. — CAILLETET y PICTET: licuefacción de los gases. — KUNDT: difusión de los líquidos. — AMAGAT: ley de Boyle-Mariotte. — TAIT: hipótesis de LESAGE de la gravitación. — E. BECQUEREL: leyes de la rotación electromagnética del plano de polarización. — PFEFFER: ósmosis. — RIGHI: crítica de la teoría de FRESNEL de la polarización rotatoria.

1878—m. A. C. BECQUEREL. — m. MAYER. — m. HENRY. — m. HOEFER. — m. REGNAULT. — m. ETTINGHAUSEN. — HUGHES: el micrófono. — CROOKES: estudio de los rayos catódicos. — RAOULT: crioscopía y tonometría. — ROWLAND: equivalente mecánico. — KELVIN: teoría de la piroelectricidad. — CLARK: elemento normal. — RIECKE: perfecciona la brújula de tangentes. — DUMAS: absorción de los gases por los sólidos. — ROENTGEN: capilaridad. — ROENTGEN y KUNDT: pie-

zoe'ectricidad. — BECQUEREL: magnetismo terrestre y polaridad rotatoria.

1879—m. MAXWELL. — m. GEISSLER. — m. MOHR. — n. PENDER. — MAXWELL descubre la obra de CAVENDISH — STEFAN: "ley de Stefan". — H. WEBER: difusión de los líquidos. — KIRCHHOFF: vibraciones de las varillas. — ZOLLNER: fotómetro de polarización; hace del radiómetro un fotómetro. — CLAUSIUS: teoría electrodinámica. — KERR amplía su observación de 1875 a los líquidos. — RAYLEIGH estudia las llamas cantantes. — MOUTON: rayos infrarrojos. — LOMMEL: teoría de la dispersión. — DAUBREE: derrame de los sólidos. — KAMMERLINGH ONNES: corrección específica de FOUCAULT. — HERTZ: extracorriente. — ROWLAND: determinación del equivalente mecánico. — LIPPMANN: principio de conservación de la electricidad.

1880—m. LISSAJOUS. — m. DE LUCA. — EDISON: lámpara incandescente. — BELL: fototeléfono. — Hermanos CURIE: piezoelectricidad y pirc electricidad. — HALL: "fenómeno Hall". — LORENTZ estudia la teoría electrónica. — SPRING: combinaciones químicas de sólidos por presión. — KUNDT estudia la dispersión anómala. — RAYLEIGH estudia las figuras de Chladni. — LIPPMANN: principio de la inercia de la electricidad estática. — ROENTGEN: electrostricción.

1881—n. BLONDLOT. — QUINCKE y HELMHOLTZ desarrollan la teoría de la electrccapilaridad. — CONGRESO INTERNACIONAL DE PARIS: medidas C. G. S. — LANGLEY perfecciona el bolómetro. — L. LORENZ: relación entre la conductibilidad eléctrica y calorífica proporcional a la temperatura absoluta. — D'ARSONVAL: galvanómetro de bobina de rotación.

1882—m. POITEVIN. — m. PALMIERI. — m. LECLANCHE. — m. BUSSY. — m. CHALLIS. — GERNEZ: experimentos de sobrefusión. — HERTZ: duración del choque. — KIRCHHOFF define el cuerpo negro. — GAULARD inventa el transformador. — RAYLEIGH: disco para el campo sonoro; presión de las ondas sonoras. — MAREY: el fusil fotográfico; padre de la cinematografía. — GIESE: explicación electrolítica de los rayos catódicos. — VOIGT: el choque; teoría de la elasticidad. — KOHLRAUSCH y MASCART: estudio de la brújula de tangentes. — BAUER perfecciona la máquina de ATWOOD.

1883—m. L. BREGUET. — m. PLATEAU. — m. GINTL. — SIDNEY YOUNG: tensión de los vapores saturantes. — DEWAR y LIVEING: espectroscopía. — PRINGSHEIM: estudio del infrarrojo con el radiómetro. — ROENTGEN estudia la piezoelectricidad. — ELSAS estudia las figuras de Chladni. — LANGLEY: experiencias sobre el espectro. — VOIGT: estudio del choque después

de SAINT VENANT (1867). — KIRCHHOFF: contracción de la vena líquida. — WROBLEWSKI y OLSZEWSKI: licuefacción de los gases. — ROWLAND: retículo cóncavo.

1884—m. QUET. — m. DU MONCEL. — m. DUMAS. — m. BOUTIGNY. — m. GUYOT. — m. BERTIN. — HERTZ: estudio de la teoría de Maxwell. — WROBLEWSKI y OLSZEWSKI: liquefacción de gases. — POYNTING estudia la teoría de Maxwell. — CHRISTIANSEN y BOLTZMANN: el cuerpo absolutamente negro. — BOLTZMANN desarrolla la ley de Stefan (1879). — LANGLEY: dispersión de los rayos infrarrojos. — ROENTGEN: viscosidad y presión de los líquidos.

1885—m. LENZ. — m. TRESCA. — m. DESAINS. — m. ANDREWS. — FIEVEZ descubre la influencia del campo magnético sobre la longitud de las ondas luminosas. (FARADAY, 1862). — RIECKE: teoría de la rotación de los líquidos. (DAVY, 1828). — C. NEUMANN: el choque, después de VOIGT (1883). — MICHELSON: influencia del movimiento de la Tierra sobre la luz. — KIRCHHOFF: magnetostricción.

1886—m. JAMIN. — m. SAINT VENANT. — m. MELSENS. — m. BEETZ. — HELMHOLTZ amplía el principio de Hamilton. — LANGLEY: estudio del infrarrojo. — LUMMER: resonador microfónico. — VAN'T HOFF: leyes de ósmosis. — WIEDEMANN: luminiscencia. — GOLDSTEIN: rayos canales.

1887—m. KIRCHHOFF. — m. HUNT. — HERTZ: efecto óptico-eléctrico. — ARRHENIUS: teoría de la electrólisis. — MATTHIESSEN: ondas acuáticas. — RIECKE: experimentos de piroelectricidad. — MICHELSON: experimento sobre movilidad del éter.

1888—m. CLAUSIUS. — m. GAULARD. — m. CROS. — HERTZ: experimentos de las ondas electromagnéticas. — CHAPPUIS: calor de vaporización de los gases licuados. — D'ARSONVAL inventa un vaso semejante al de DEWAR (1893). — BERLINER: gramófono. — WIEDEMANN: luminiscencia. — MASCART estudia la teoría de AIRY (1837) del arco iris. — ROENTGEN: temperatura y compresibilidad de los líquidos; experiencia complementaria de la de ROWLAND.

1889—m. JOULE. — m. MEUCCI. — SARRASIN, DE LA RIVE y otros amplían los experimentos de HERTZ. — VAN DER WAALS: ley de Boyle-Mariotte. — GOUY ratifica la explicación de WIENER (1836) del movimiento browniano. — MAREY aplica la película a su "fusil fotográfico". — DEMENEY perfecciona este "cronofotógrafo de Marey". — NERNST: teoría electroquímica. — KELVIN: modificación de los conceptos de MAC CULLAGH (1835) sobre el éter. — LENARD y KLATT: fosforescencia.

1890—m. HIRN. — m. SORET. — m. BUYS-BALLOT. — LIPPMANN: fotografía de los colores. — TAIT: duración del choque. — HELMHOLTZ: ondas acuáticas; radiación térmica. — MATHIAS: gases licuados. — BOYS: perfecciona el radiómetro de CROOKES. — VOIGT estudia la piezoelectricidad; analiza la teoría de KOENIG sobre sonidos diferenciales. — WIEN: teléfono óptico. — SCHUSTER: teoría de GIESE (1882).

1891—m. WEBER. m. Ed. BECQUEREL. — m. ROWLAND. — m. CASELLI. — m. COLLEY. — BRANLY: cohesor. — EDISON: cinematógrafo.

1892—m. AIRY. — m. J. THOMSON. — n. ABRIA. — MOISSAN: horno eléctrico. — HERTZ: los rayos catódicos atraviesan láminas metálicas. — CAILLETET y BATELLI: tensión de los vapores saturantes. — LEDUC: densidad de los gases. — MICHELSON construye el espectroscopio de FIZEAU (1864). — VOIGT y RIECKE estudian la piezoelectricidad. — RUBENS: rayos infrarrojos. — CROOKES propone el empleo de las ondas hertzianas en telegrafía.

1893—m. TYNDALL. — m. COLLADON. — m. STEFAN. — DEWAR: "vaso Dewar". — HELMHOLTZ: teoría electromagnética de la dispersión anómala. — AMAGAT: leyes de los vapores saturantes. — ELSTER y GEITEL: fotómetro eléctrico. — BLONDEL: oscilógrafo. — QUINCKE perfecciona la brújula de tangentes. — WIEN y PASCHEN: experiencias sobre el espectro. — EBERT confirma la teoría de Lommel (1879). — VOIGT: teoría de la luz.

1894—m. HELMHOLTZ. — m. HERTZ. — m. JABLOCHKOFF. — m. CARRE. — LENARD: "rayos Lenard". — STONEY utiliza el término "electrón". — Aparece la obra póstuma de HERTZ sobre mecánica. — PASCHEN: estudio del infrarrojo. — WEBER: fotómetro de superficie. — DEWAR: derrame de los sólidos.

1895—m. F. NEUMANN: — ROENTGEN: rayos X .— POPOFF: receptor de descargas atmosféricas. — MARCONI: telegrafía sin hilo. — BRANLY: telemecánica. — MICHELSON: conversión del metro en longitudes de onda. (BABINET, 1829). — RUBENS hace del teléfono de WIEN (1890) un galvanómetro de vibración. — WIENER: estudio de la fotografía en colores. — LUMIERE: primeros espectáculos cinematográficos. — WIEDEMANN y SCHMIDT: fosforescencia.

1896—m. FIZEAU. — m. GROVE. — m. REISET. — ZEEMAN: fenómeno magneto-óptico (FEVIEZ, 1885). — ENRIQUE BECQUEREL: "rayos Becquerel"; radioactividad. — LEDUC: ley de Boyle-Mariotte. — RUBENS: rayos infrarrojos. — LARMOR y WIECHERT: teoría de los electrones.

1897—m. CANTONI. — SAGNAC: rayos S. — KELVIN: tensión de los vapores saturantes. — GRAETZ: válvula electrolítica. — DEWAR y MOISSAN: procedimiento de liquefacción de los gases. — TAMMANN: sobrefusión. — G. WIEN estudia los rayos canales. — MAX WIEN: circuitos acoplados. — LODGE: receptor de circuito inducido. — TURPAIN: uso del teléfono en radiotelefonía. — ASCOLI: estudio de la antena.

1898—m. L. CLARK. — Esposos CURIE: el radio. — BECQUEREL: dispersión anómala. — MAX ABRAHAM: leyes de trasmisión radiotelegráfica. — BLONDEL: teoría de la función de la tierra en radiotelegrafía. — BRAUN: circuitos acoplados.

1899—m. BUNSEN. — m. WIEDEMANN. — m. HUGHES. — m. BABO. — m. LOMMEL. — m. CAVALLI. — m. HANKEL. — LEBEDEFF: presión de la luz. — RAYLEIGH: estudio del "efecto Tyndall"; variación del sonido con la distancia. — J. THOMSON: teoría de los electrones. — Esposos CURIE: propiedades del radio; radioactividad temporaria.

1900—m. BERTRAND. — m. LENOIR. — m. HUGHES. — J. J. THOMSON: método de medida de la carga de un electrón. — F. KOHLRAUSCH: relación entre la conductibilidad eléctrica y calorífica. — BOIS y RUBENS: galvanómetro acorazado. — ARRHENIUS: presión de la luz. — MERCADIER: telégrafo múltiple. — CORNU: crítica del método de FOUCAULT y del método de YOUNG y FORBES. — LORENTZ: teoría electromagnética de la gravitación. — VILLARD descubre los rayos γ. — PLANCK: teoría de los quanta. — DUDELL: arco cantante.

SIGLO XX. (DATOS BIOGRAFICOS) (1)

1901—m. TAIT. — m. ROWLAND. — m. GRAMME. — m. E. GRAY. m. RAOULT. — m. FITZGERALD. — m. R. KOENIG.

1902—m. CORNU. — m. FELICI. — m. FAYE.

1903—m. STOKES. — m. GIBBS.

1904—m. SARRAU. — m. MAREY.

1905—m. A. POTIER.

1906—m. CURIE. — m. LANGLEY.

1907—m. KELVIN. — m. MOISSAN. — m. MENDELEIEFF. — m. M. BERTHELOT.

1908—m. E. BECQUEREL. — m. MASCART. — m. BOLTZMANN. m. WULLNER.

1909—m. MINKOWSKY.

1910—m. BRUNHES. — m. F. KOHLRAUSCH.

---

(1) Aunque se hayan citado algunos hechos importantes de la historia de la física en el siglo XX, en el curso de nuestro estudio, no hemos pretendido hacer la historia de esta época, demasiado cercana aún.

1911—m. VAN'T HOFF. — m. MERCADIER. — m. LOUGUININE m. BOSSCHA.
1912—m. PACINOTTI.
1913—m. CAILLETET. — m. TELLIER. — m. PREECE.
1914—m. Enr. POINCARE. — m. POYNTING. — m. HITTORF.
1915—m. AMAGAT.
1916—m. DUHEM. — m. RAMSAY. — m. MACH.
1917—m. DUMENY.
1919—m. CROOKES.
1920—m. QUINCKE. — m. RIGHI. — m. Luc. POINCARE. — m. VOIGT. — m. PFEFFER.
1921—m. LIPPMANN.
1922—m. BELL. — m. RUBENS.
1923—m. DEWAR. — m. ROENTGEN. — m. VIOLLE. — m. VAN DER WAALS.
1926—m. KAMMERLINGH ONNES.
1927—m. ARRHENIUS.
1928—m. LORENTZ. — m. WIEN.
1929—m. BERLINER.
1930—m. MICHELSON.
1931—m. EDISON. — m. LEBON.
1932—m. OSTWALD.
1934—m. la Sra. CURIE. — m. P. VILLARD.

INDICE ALFABETICA

de los principales autores estudiados en esta obra

Los números en negrita indican la página en que se encuentra la biografía del autor.

Para evitar repeticiones, este índice no hace referencia a la "Reseña de la Evolución de los Capítulos de la Física".

LIBRO III. — ACUSTICA

LIBRO IV. — OPTICA

LIBRO V. — ELECTRICIDAD

CUADROS SINCRONICOS